

## 低功耗，单相多功能电能计量 SoC

V99xx 是高性能、低功耗的单相电能计量 SoC 芯片系列，集成模拟前端、电能计量模块、增强型 8052 内核、RTC、WDT、Flash、SRAM 和 LCD 驱动等功能模块，可为单相多功能电能表提供单芯片解决方案。

### 特点

- 3.3V 或 5V 电源供电，宽电压输入范围：2.5V~5.5V
- 低功耗设计：
  - 全速工作时，芯片典型工作电流：3.9mA，工作电流范围：2.8 mA~4.2 mA
  - 休眠时，ram 保持数据时典型工作电流：6.8uA，工作电流范围：4.5 uA ~8.6uA
  - 休眠时，ram 不保持数据时工作电流：4.5uA，工作电流范围：3.5 uA ~6.0uA
  - 仅 RTC 工作模式，工作电流：2.0uA
- 基准电压：1.185V（10ppm/°C），外部电容漏电时产生中断
- 支持灵活的防窃电应用
- 100-LQFP /64-LQFP /24-SSOP 封装
- 工作温度：-40~+85°C
- 储存温度：-55~+150°C
- 计量特点：
  - 电流输入：普通 CT 和锰铜分流器
  - 4 路独立的过采样  $\Sigma/\Delta$  ADC：1 路电压、2 路电流和 1 路多功能测量通道
  - 计量精度：
    - ✓ 满足 GB/T 17215.321-2008、GB/T 17215.322-2008 和 GB/T 17215.323-2008 的要求
    - ✓ 在电流 5000:1 动态范围内，有功计量误差小于 0.1%
    - ✓ 在电流 3000:1 动态范围内，无功计量误差小于 0.1%
    - ✓ 在电流 1000:1 动态范围内，电压/电流有效值计量误差小于 0.5%
  - 提供各种数据：
    - ✓ 电压/电流信号原始波形和直流分量
    - ✓ 电压/电流信号波形缓存
    - ✓ 瞬时/秒平均有功/无功功率和秒平均视在功率
    - ✓ 瞬时/秒平均电压/电流有效值
    - ✓ 正反向有功/无功电能

- ✓ 线电压频率
- ✓ 温度，测量精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- ✓ 电池电压/外部电压
- 支持一路电流同时进行有功与无功电能计量，或者两路电流同时进行有功电能计量
- 计量模式：累加功率、电流有效值；降频计量；直流计量；快速有效值检测
- 支持软件校表：
  - ✓ 支持角差校正，最小调整步长 $\pm 0.02\%$ （PF=0.5L）
  - ✓ 支持有效值/功率比差校正
  - ✓ 支持有功/无功功率/有效值二次补偿（offset 校正）
  - ✓ 支持小电流加速校表
- 支持 CF 脉冲输出，CF 脉宽可设置
- 支持电压过零点中断
- 支持快速电流检测
- 支持起动/潜动判断，判断阈值可配置
- **MCU 及外设：**
  - 高性能 8 位 8052 兼容 MCU 内核，工作频率可编程，运算能力最高可达 26MHz/6.5mips
  - 最多 2 路比较器，支持比较器输出中断
  - 集成起振电路和 PLL，片外仅需一个 32768Hz 晶体
  - 时钟管理：晶体监测，停振报警并切换至内部 RC 时钟
  - 128KBFlash 存储器，具有写保护和加密功能，支持 ISP 和 IAP
  - 8KB 外部 SRAM 存储器
  - 高性能 RTC，电源独立，支持温度补偿，实时秒脉冲校正，全温度范围内计时误差小于 5ppm
  - 最多 5 路全速 UART，支持波特率补偿，其中一路支持红外通信
  - 最多 2 路增强型 UART，支持 ISO/IEC 7816-3 协议
  - 最多 1 路通用串行通信接口（GPSI），支持 I<sup>2</sup>C 协议
  - 最多 70 个可配置的 GPIO
  - 最多 16 个快速 IO 口
  - 最多 12 个硬件定时器，支持 PWM 输出
  - LCD 驱动：
    - 1/3 Bias 或 1/4 Bias
    - 支持多种扫描频率
    - 驱动电压在 2.7V~3.3V 范围内可调，调整步长 100mV
  - 时钟独立的硬件看门狗电路，增强系统的稳定性
  - JTAG 实时调试系统
  - 支持多种休眠唤醒方法，并可配置为唤醒复位/不复位

- **V9901 /V9911 /V9981 资源列表**

外设	V9901	V9911	V9981
模拟比较器	2 路	1 路	1 路
UART	5 路	4 路	2 路
EUART	2 路	无	无
GPSI	1 路	1 路	无
GPIO	70	44	9
快速 IO	16	4	无
LCD	40x4, 38x6, 36x8	27x4, 25x6, 23x8	无
Flash	128KB	128KB	64KB
XRAM	8KB	8KB	8KB
封装	100-LQFP	64-LQFP	24-SSOP

声明

# 目录

特点 .....	1
声明 .....	4
目录 .....	5
第 1 章 引脚分布图 .....	9
第 2 章 电气特性 .....	14
2.1 绝对最大额定值 .....	14
2.2 计量性能 .....	14
2.3 模拟电路特性 .....	15
2.4 数字电路特性 .....	16
2.4.1 数字 I/O 特性 .....	16
2.4.2 存储器特性 .....	17
2.5 典型工作电流 .....	17
第 3 章 功能框图 .....	18
第 4 章 8052 MCU 结构 .....	19
4.1 存储器和地址映射 .....	19
4.1.1 IRAM 和 SFR .....	19
4.1.2 数据存储器空间 .....	20
4.1.3 程序存储器空间 .....	21
4.2 指令集 .....	26
4.3 可编程的 MOVX 访问周期 .....	30
4.4 双数据指针 .....	31
第 5 章 特殊功能寄存器 (SFR) .....	32
第 6 章 模拟控制寄存器 .....	36
第 7 章 复位 .....	49
7.1 复位相关寄存器 .....	49
7.2 复位范围 .....	51
7.3 复位等级 3 .....	52
7.4 复位等级 2 .....	52
7.5 复位等级 1 .....	53
7.5.1 片外输入 RSTN 复位 .....	53
7.5.2 上电复位 (POR) / 欠压复位 (BOR) .....	53
7.5.3 WDT 溢出复位 .....	53
第 8 章 电源系统 .....	54
8.1 3.3V 稳压电路 (LDO33) .....	54
8.2 数字电源电路 .....	55
8.3 掉电监测电路 .....	55
8.4 电池供电 .....	56
8.5 电源系统相关寄存器 .....	56
第 9 章 时钟 .....	60
9.1 时钟系统相关寄存器 .....	60
9.2 时钟系统特点 .....	68

9.3	时钟控制电路.....	68
9.4	RC 时钟产生电路.....	69
9.5	OSC 时钟产生电路.....	69
9.6	PLL 时钟产生电路.....	70
9.6.1	开启 PLL 并调整 PLL 时钟频率.....	70
9.6.2	50Hz/60Hz 电网应用对时钟频率的影响.....	71
9.7	MCU 时钟和电能计量时钟的时钟源切换.....	71
9.7.1	普通操作方式切换 MCU 和电能计量时钟源.....	71
9.7.2	快速操作方式切换 MCU 时钟源.....	73
9.7.3	普通操作方式 V.S 快速操作方式切换 MCU 时钟源.....	75
9.8	外设时钟分频.....	76
第 10 章	休眠唤醒.....	77
10.1	休眠状态.....	77
10.2	休眠相关寄存器.....	78
10.2.1	恢复供电唤醒.....	83
10.2.2	IO 休眠唤醒.....	83
10.2.3	RTC 休眠唤醒.....	83
10.2.4	CF 脉冲输出唤醒复位.....	83
10.2.5	休眠/唤醒-使用普通操作方式.....	84
10.2.6	休眠/唤醒-使用快速操作方式.....	86
第 11 章	电能计量.....	88
11.1	寄存器列表和使用说明寄存器列表和使用说明.....	93
11.1.1	访问计量控制/数据寄存器.....	93
11.1.2	计量控制寄存器.....	94
11.1.3	计量数据寄存器.....	103
11.1.4	校表参数寄存器.....	108
11.2	电能计量时钟.....	110
11.3	基准电压.....	111
11.4	模拟信号输入.....	112
11.5	模拟/数字转换.....	115
11.6	计量模式选择.....	115
11.7	电流计量通道选择.....	116
11.8	角差校正.....	117
11.9	数字信号输入.....	118
11.10	快速电流检测.....	119
11.11	有效值计算和校正.....	120
11.12	视在功率计算.....	121
11.13	有功/无功功率计算和校正.....	122
11.13.1	有功功率计算.....	122
11.13.2	无功功率计算.....	123
11.14	能量累加和 CF 脉冲输出.....	123
11.14.1	能量累加和脉冲产生.....	123
11.14.2	CF 脉冲输出.....	125
11.15	起动/潜动判断.....	125
11.16	线电压频率测量.....	126
11.17	M 通道测量.....	127
11.17.1	M 通道结构.....	127
11.17.2	测量温度.....	129
11.17.3	电池电压和外部信号测量.....	129

11.18	波形缓存 .....	130
11.19	计量模块初始化 .....	131
11.20	校表 .....	132
11.20.1	计算公式 .....	133
11.20.2	校表方法 .....	135
第 12 章	模拟比较器 .....	137
第 13 章	中断控制系统 .....	139
13.1	中断资源 .....	139
13.2	中断级别 .....	143
13.3	中断处理 .....	143
13.4	中断控制 SFR .....	144
13.5	中断扩展 .....	146
13.5.1	中断向量 8 .....	146
13.5.2	中断向量 9 .....	147
13.5.3	中断向量 10 .....	149
13.5.4	中断向量 11 .....	151
第 14 章	UART/Timer .....	153
14.1	定时器/计数器 .....	153
14.1.1	TIMERA .....	153
14.1.2	TIMER0/TIMER1/TIMER2 .....	163
14.2	UART .....	171
14.2.1	UART1 .....	171
14.2.2	扩展外设 UART .....	172
14.2.3	UART 的模式选择 .....	176
14.2.4	波特率补偿 .....	179
14.3	增强型 UART (EUART) .....	179
14.3.1	EUART 相关寄存器 .....	180
14.3.2	EUART 通信时序 .....	182
14.3.3	EUART 通信波特率 .....	183
14.3.4	EUART 数据发送与接收 .....	184
14.3.5	EUART 的智能卡通信应用 .....	185
第 15 章	通用串行通信接口 (GPSI) .....	187
15.1	通信帧结构 .....	187
15.2	GPSI 通信频率 .....	188
15.3	启动数据收发 .....	188
15.4	GPSI 中断 .....	188
15.5	GPSI 接口 .....	189
15.6	GPSI 接口用于 I <sup>2</sup> C 通信 .....	189
15.7	GPSI 接口相关寄存器 .....	191
第 16 章	LCD 驱动电路 .....	193
16.1	LCD 驱动电路结构图 .....	193
16.2	LCD 驱动电路相关引脚 .....	193
16.3	时序产生电路 .....	194
16.4	LCD 驱动电压 .....	195
16.5	LCD 驱动方式 .....	195
16.6	LCD 工作电流 .....	200
16.7	LCD 显示缓冲寄存器 .....	200
16.8	LCD 驱动电路相关寄存器 .....	205

第 17 章	GPIO .....	209
17.1	P0 .....	209
17.2	P1 .....	211
17.3	P2 .....	213
17.4	P3 .....	216
17.5	P4 .....	217
17.6	P5 .....	218
17.7	P6 .....	219
17.8	P7 .....	221
17.9	P8 .....	222
17.10	P9 .....	223
17.11	P10 .....	225
第 18 章	看门狗定时器 (Watchdog Timer, WDT) .....	227
18.1	WDT 时钟源 .....	227
18.2	清空 WDT 计数 .....	227
18.3	WDT 溢出复位原理 .....	228
18.4	WDT 相关寄存器 .....	229
第 19 章	RTC .....	231
19.1	RTC 相关寄存器 .....	231
19.2	读写 RTC .....	236
19.2.1	写 RTC .....	236
19.2.2	读 RTC 数据 .....	236
19.3	RTC 计时 .....	236
19.4	RTC 中断 .....	236
19.4.1	RTC 非法数据中断 .....	236
19.4.2	RTC 秒中断 .....	237
19.5	高频秒脉冲校正 .....	237
19.6	RTC 校正 .....	237
19.6.1	利用高频秒脉冲校正 RTC .....	237
19.6.2	利用标准秒脉冲校正 RTC .....	238
19.6.3	温度补偿校正 RTC .....	238
第 20 章	封装尺寸图 .....	240
图索引	.....	242
表索引	.....	245
版本更新说明	.....	253

# 第1章 引脚分布图

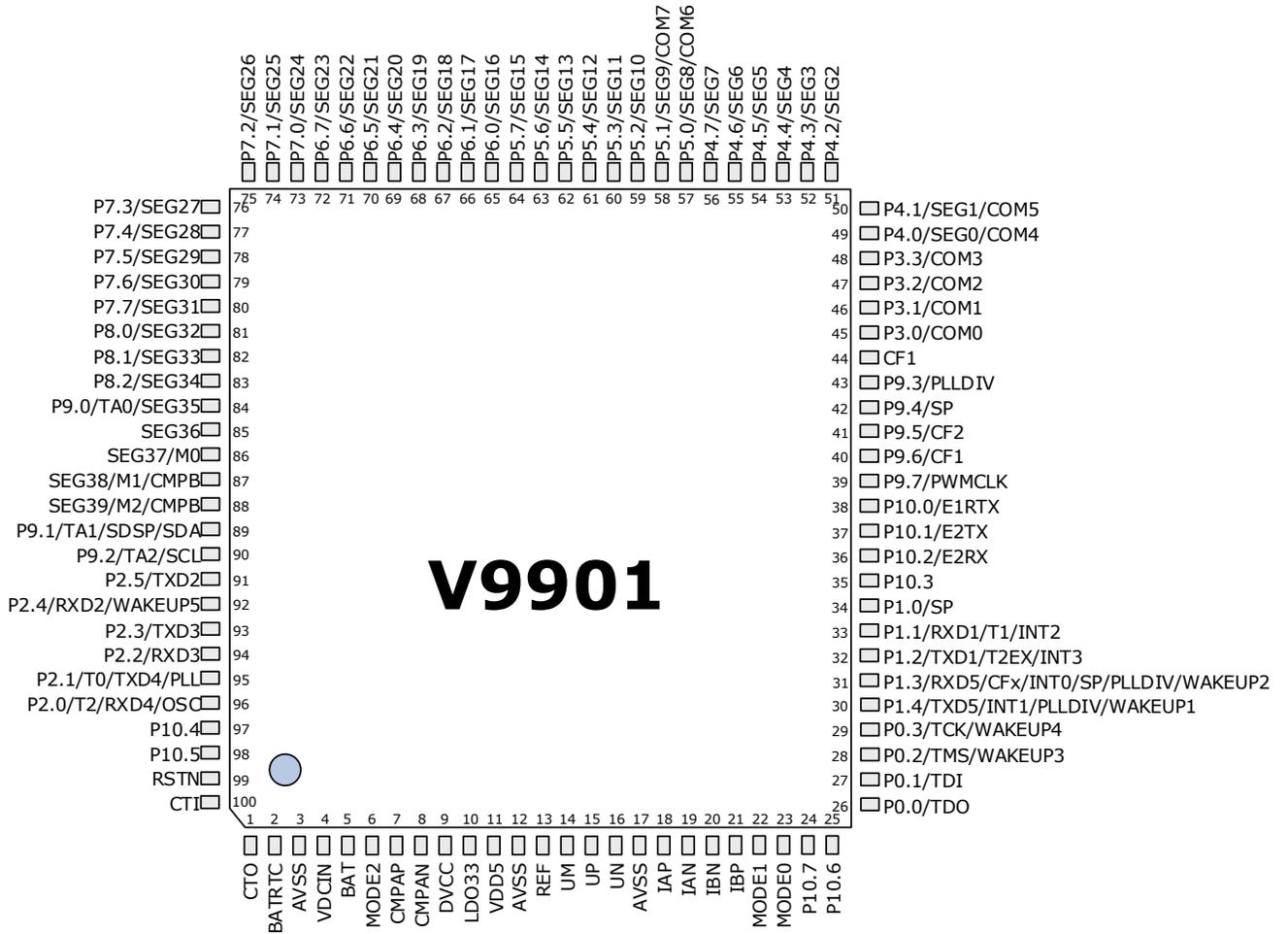


图 1-1 V9901 引脚分布图

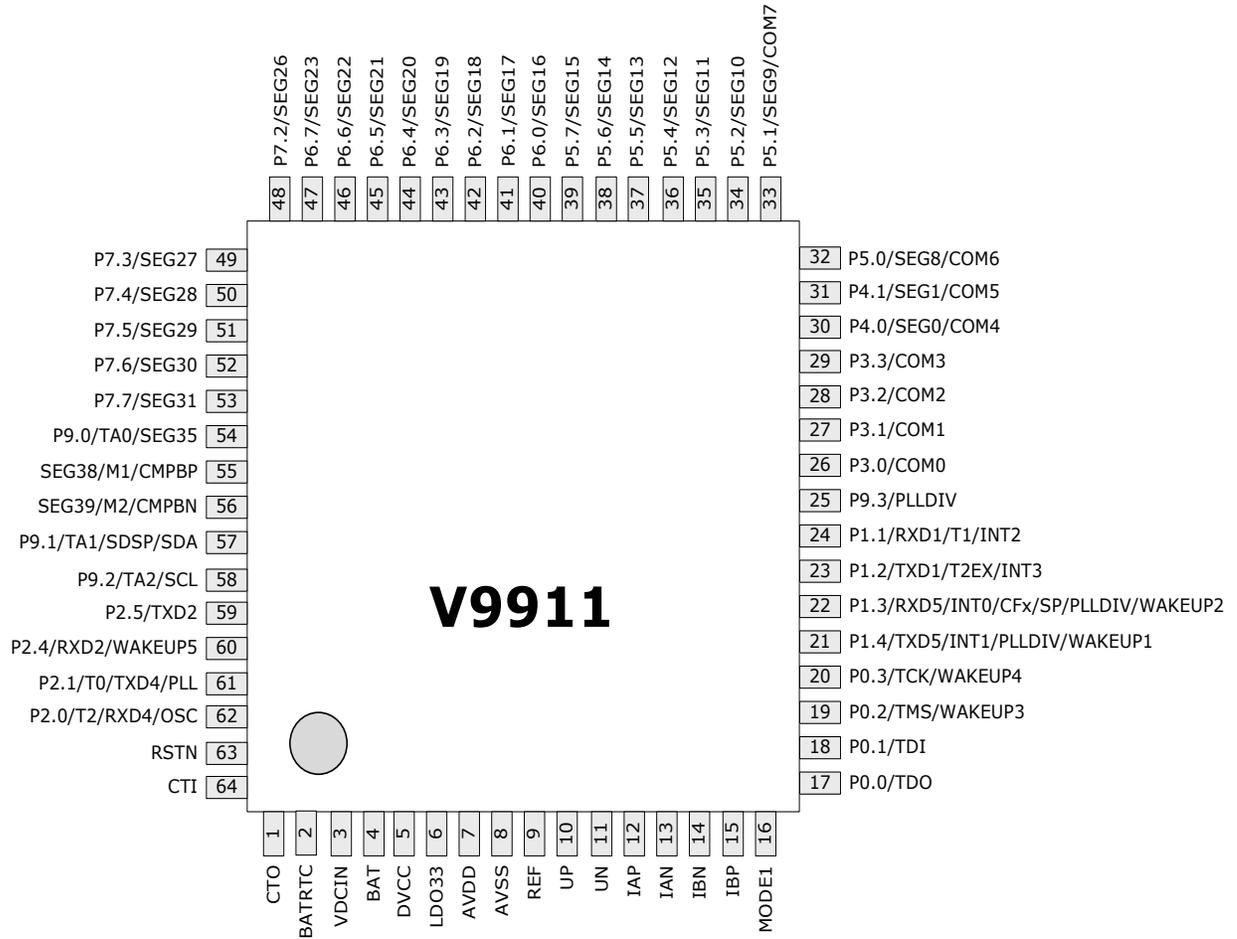


图 1-2 V9911 引脚分布图

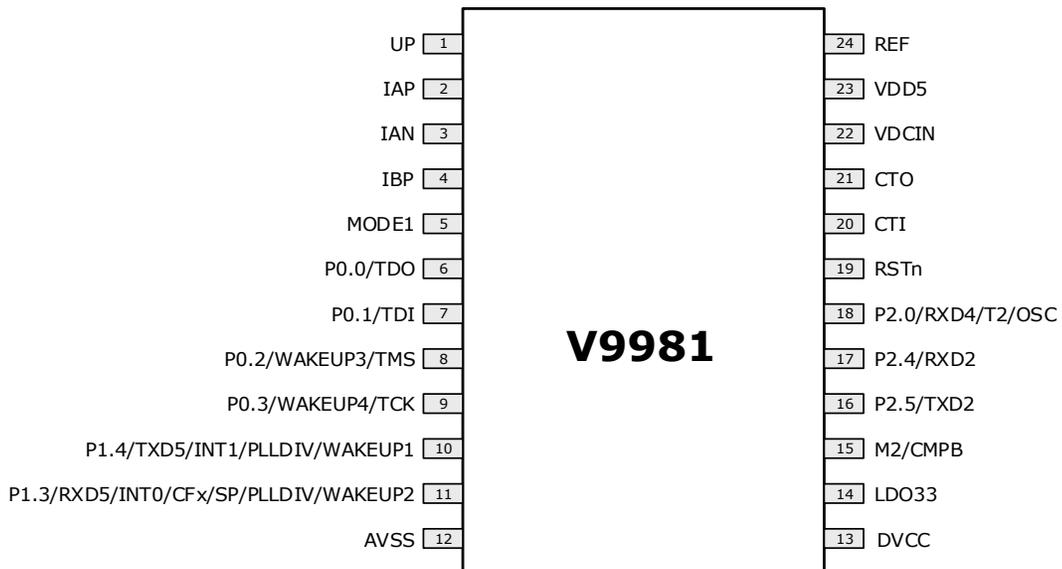


图 1-3 V9981 引脚分布图

下表“类型”一栏中，I=输入；O=输出；P=电源；G=地。

V9901	V9911	V9981	名称	类型	功能说明
1	1	21	CTO	O	32768Hz 晶体振荡输出。
2	2		BATRTC	P	RTC 电源输入。其输入电压为 3.6V。
3			AVSS	G	模拟地。
4	3	22	VDCIN	I	掉电监测输入。高于 1.1V 表明当前是正常供电；低于 1V 表示当前发生了掉电。
5	4		BAT	I	测量系统电池电压输入。从该引脚输入的待测电压信号的范围为-200mV~3.8V。不连接电池时，该引脚必须浮空，不应接地。
6			MODE2	I	必须接 DVCC 脚。
7			CMPAP	I	比较器 A 输入 P 端。
8			CMPAN	I	比较器 A 输入 N 端。
9	5	13	DVCC	P	数字电源电压输出，接 4.7uF+0.1uF 电容。
10	6	14	LDO33	P	模拟 3.3V 电压输出，接 4.7uF+0.1uF 电容。在 3.3V 系统下，建议将该引脚直接连接到 VDD5 引脚。
11	7	23	VDD5	P	电源输入。接 10uF+0.1uF 电容。在 3.3V 系统下，建议将该引脚直接连接到 LDO33 引脚。
12	8	12	AVSS	G	模拟地。
13	9	24	REF	I/O	片上基准电压输出，接 1uF 电容。
14			UM	I	多功能 ADC 输入
15	10	1	UP	I	电压信号 P 端输入。
16	11		UN	I	电压信号 N 端输入。
17			AVSS	G	模拟地
18	12	2	IAP	I	电流通道 A 电流信号 P 端输入。
19	13	3	IAN	I	电流通道 A 电流信号 N 端输入。
20	14		IBN	I	电流通道 B 电流信号 N 端输入。
21	15	4	IBP	I	电流通道 B 电流信号 P 端输入。
22	16	5	MODE1	I	芯片工作模式选择：0：调试模式；1：正常运行模式。
23			MODE0	I	必须接地。
24			P10.7	I/O	快速 GPIO 口。
25			P10.6	I/O	快速 GPIO 口。
26	17	6	P0.0/TDO	I/O	普通 GPIO 口/JTAG 口 TDO
27	18	7	P0.1/TDI	I/O	普通 GPIO 口/JTAG 口 TDI。
28	19	8	P0.2/TMS/ WAKEUP3	I/O	普通 GPIO 口/JTAG 口 TMS/IOWK 唤醒口。
29	20	9	P0.3/TCK/ WAKEUP4	I/O	普通 GPIO 口/JTAG 口 TCK/IOWK 唤醒口。
30	21	10	P1.4/TXD5 /INT1/PLL DIV/WAKE UP1	I/O	普通 GPIO 口/UART5 发送数据输出/端口中断 1 输入，下降沿有效/高频分频后的系统时钟输出，可用于高频秒脉冲输出/IO 休眠唤醒

## V99xx 数据手册 引脚分布图

31	22	11	P1.3/RXD5 /INT0/CF1/ CF2/SP/PL LDIV/WAK EUP2	I/O	普通 GPIO 口/UART5 接收数据输入/端口中断 0 输入, 下降沿有效/CF1 脉冲输出/CF2 脉冲输出/RTC 秒脉冲输出/高频分频后的系统时钟输出, 可用于高频秒脉冲输出/IO 休眠唤醒, 唤醒边沿可设置。
32	23		P1.2/TXD1 /T2EX/INT 3	I/O	普通 GPIO 口/UART1 发送数据输出/Timer2 捕获/重载触发信号输入/端口中断 3 输入, 下降沿有效。
33	24		P1.1/RXD1 /T1/INT2	I/O	普通 GPIO 口/UART1 接收数据输入/Timer1 外部输入/端口中断 2 输入, 下降沿有效。
34			P1.0/SP	I/O	普通 GPIO 口/秒脉冲输出口
35			P10.3	I/O	快速 GPIO 口
36			P10.2/E2R X	I/O	快速 GPIO 口/EUART2 (增强型 UART2) 通讯数据接收。
37			P10.1/E2T X	I/O	快速 GPIO 口/EUART2 (增强型 UART2) 通讯数据发送。
38			P10.0/E1R TX		快速 GPIO 口/EUART1 (增强型 UART1) 通讯数据发送、接收。
39			P9.7/PWM CLK	I/O	快速 GPIO 口/可调整脉冲宽度时钟输出, 当 EUART 接口作智能卡通信时, 此时钟输出用作智能卡输入时钟。
40			P9.6/CF1	I/O	快速 GPIO 口/CF1 脉冲输出。
41			P9.5/CF2	I/O	快速 GPIO 口/CF2 脉冲输出。
42			P9.4/SP	I/O	快速 GPIO 口/秒脉冲输出。
43	25		P9.3/PLLDI V	I/O	快速 GPIO 口/高频分频后的系统时钟输出, 可用于高频秒脉冲输出。
44			CF1	O	CF1 脉冲输出。
45~48	26~29		P3.0~P3.3 /COM0~CO M3	I/O	普通 GPIO 口/COM 口。
49	30		P4.0/SEG0 /COM4	I/O	普通 GPIO 口/SEG0 口/COM4 口。
50	31		P4.1/SEG1 /COM5	I/O	普通 GPIO 口/SEG1 口/COM5 口。
51~56			P4.2~P4.7 /SEG2~SE G7		普通 GPIO 口/LCD 的 SEG 输出引脚。
57	32		P5.0/SEG8 /COM6	I/O	普通 GPIO 口/SEG8 口/COM6 口。
58	33		P5.1/SEG9 /COM7	I/O	普通 GPIO 口/SEG9 口/COM7 口。
59~83	34~53		P5.2~P8.2 /SEG10~S EG34	I/O	普通 GPIO 口/LCD 的 SEG 输出引脚。
84	54		P9.0/TA0/ SEG35	I/O	快速 GPIO 口/TimerA 比较/捕获模块 0 的输入或输出/LCD 的 SEG 输出引脚。
85			SEG36	O	LCD 的 SEG 输出引脚

## V99xx 数据手册 引脚分布图

86			SEG37/M0	I/O	LCD 的 SEG 输出引脚/M 通道信号输入。M 通道信号输入用于测量系统电池电压或外部电压信号。从 M0 引脚输入的待测电压信号的范围为-200mV~3.4V。
87~88	55~56	15	SEG38~SEG39/M1~M2/CMPB	I/O	LCD 的 SEG 输出引脚/M 通道信号输入，用于测量系统电池电压或外部电压信号。从 M1 或 M2 引脚输入的待测电压信号的范围为-200mV~3.4V/模拟比较器 CB 的差分信号输入。
89	57		P9.1/TA1/SDSP/SDA	I/O	快速 GPIO 口/TimerA 比较/捕获模块 1 的输入或输出/标准秒信号输入/通用串行通信 (GPSI) 数据信号输入或输出。
90	58		P9.2/TA2/SCL	I/O	快速 GPIO 口/TimerA 比较/捕获模块 2 的输入或输出/通用串行通信 (GPSI) 时钟信号输入。
91	59	16	P2.5/TXD2	I/O	GPIO 口/UART2 发送数据输出，可以选择发送带有 38kHz 载波的信号。
92	60	17	P2.4/RXD2/WAKEUP5	I/O	GPIO 口/UART2 接收数据输入，如用作红外通信时，需要外接红外解调器件/IO 休眠唤醒输入，唤醒边沿可设置。
93			P2.3/TXD3	I/O	GPIO 口/UART3 发送数据输出。
94			P2.2/RXD3	I/O	GPIO 口/UART3 接收数据输入。
95	61		P2.1/TXD4/T0/PLL	I/O	GPIO 口/UART4 发送数据输出/Timer0 外部输入/PLL 时钟输出。
96	62	18	P2.0/RXD4/T2/OSC	I/O	GPIO 口/UART4 接收数据输入/Timer2 外部输入/OSC 时钟输出。
97			P10.4	I/O	快速 GPIO 口
98			P10.5	I/O	快速 GPIO 口
99	63	19	RSTn	I	复位输入，低电平持续时间大于 5ms 有效。
100	64	20	CTI	I	32768Hz 晶体振荡输入。芯片内部集成起振电路，片外只需要一个 32768Hz 的晶体。

## 第2章 电气特性

### 2.1 绝对最大额定值

超出下列最大/最小值的工作条件可能会造成芯片的永久性损伤。

参数	最小	最大	单位	说明
电源电压	-0.3	+8.0	V	相对于地
电流采样通道输入电压	-0.3	+3.3	V	相对于地
电压采样通道输入电压	-0.3	+3.3	V	相对于地
工作温度	-40	+85	°C	
存储温度	-55	+150	°C	
结温	-	150	°C	
引脚温度（焊接，10 秒）	-	300	°C	

### 2.2 计量性能

如无特别说明，以下表中所有典型值规格均在  $TA=25^{\circ}\text{C}$ ， $VDD5=5.0\text{V}\pm 10\%$ ，电能计量时钟频率 ( $f_{MTCLK}$ ) 为 3.2768MHz 条件下测得。

参数	典型	单位	说明
通道间相差			
PF=0.8 容性	$\pm 0.05$	度	电流超前电压 $37^{\circ}$
PF=0.5 感性	$\pm 0.05$	度	电流滞后电压 $60^{\circ}$
有功电能计量			
误差	0.1	%	动态范围 5000:1 @ $25^{\circ}\text{C}$
带宽	1.6	kHz	
无功电能计量			
误差	0.1	%	动态范围 3000:1 @ $25^{\circ}\text{C}$
带宽	1.6	kHz	
视在电能计量			
误差	0.5	%	动态范围 1000:1 @ $25^{\circ}\text{C}$
电压/电流有效值计量			
误差	0.5	%	动态范围 1000:1 @ $25^{\circ}\text{C}$
带宽	1.6	kHz	
CF 脉冲输出			
最大输出频率	6.4	kHz	

参数	典型	单位	说明
占空比	50%		当 CF 周期小于两倍 CF 脉宽（配置）时
最大脉宽	80	ms	可配置
频率测量分辨率	0.05	Hz	测量范围 35~75Hz
温度测量误差	±1	°C	测量范围-40~+85°C

## 2.3 模拟电路特性

如无特别说明，以下表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内（ $T=-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD5}=3.3\text{V}$  或  $5.0\text{V}$ ）。如无特别说明，以下表中所有典型值规格均在  $T_{A}=25^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD5}=5.0\text{V}\pm 10\%$  条件下测得。

参数	最小	典型	最大	单位	说明
电源输入（VDD5）	3.6	5.0	5.5	V	5V 供电
	2.5	3.3	3.6	V	3.3V 供电
RTC 电源输入（BATRTC）	2.0	3.6	5.5	V	
3.3V LDO					
电压	2.8	3.3	3.5	V	$V_{DD5}\geq 4\text{V}$ ， $I_{L33}=16\text{mA}$ 。可编程。
负载电流（ $I_{L33}$ ）			30	mA	数字 IO 口（GPIO 端口）由 3.3V-LDO 供电，IO 上消耗的总电流不能大于 3.3V-LDO 的最大驱动能力。
数字电源电路					
电压	1.3	1.8	2.0	V	可编程。
负载电流（ $I_{LD}$ ）			35	mA	
POR/BOR 检测门限		1.4		V	偏差为±10%
掉电检测门限（VDCIN）					
输入电压	0		LDO33	V	LDO33
输入阻抗		1.5		MΩ	
掉电检测门限（PWRDN）		1.0		V	
上电检测门限（PWRUP）		1.1		V	
模拟输入信号					
单端输入信号	-200		+200	mV	峰值
ADC 性能					
直流失调			15	mV	
有效位数		20		bit	不包含符号位

参数	最小	典型	最大	单位	说明
信号带宽 (-3dB)		1.6		kHz	
ADC 工作电流					
电压 ADC		307		μA	f <sub>ADC</sub> =819.2kHz
电流 ADC		485		μA	
M 通道 ADC		238		μA	
片内晶体起振电路					
输入晶体频率		32.768		kHz	
片上基准电压					
偏差	-18		18	mV	
电源抑制比		80		dB	
温度系数		10	30	ppm/°C	
输出电压		1.185		V	
模拟比较器 CA/CB					
输入电压范围	0		VDD5-0.8	V	
功耗		186.2		nA	输入偏置电流为 20nA;
延时	2.7	3.0	4.0	μs	输入 50kHz 方波。
功耗		664.6		nA	输入偏置电流为 200nA;
延时	0.20	0.37	0.60	μs	输入 50kHz 方波。

## 2.4 数字电路特性

### 2.4.1 数字 I/O 特性

如无另外说明，以下表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内（T=-40°C~+85°C，VDD5=3.3V 或 5.0V）。

参数	最小	典型	最大	单位	说明
数字 IO, 输出					
输出高电平, V <sub>OH</sub>	2.4			V	12mA 电流短时间内不会对芯片造成损坏； 长时间大于 10mA 的电流会对芯片造成损坏。
I <sub>SOURCE</sub>		10	12	mA	
输出低电平 V <sub>OL</sub>			0.4	V	
I <sub>SINK</sub>		10	12	mA	
数字 IO, 输入					

参数	最小	典型	最大	单位	说明
输入高电平, $V_{INH}$	2.0			V	
输入低电平, $V_{INL}$			0.8	V	

## 2.4.2 存储器特性

如无另外说明, 以下表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内 ( $T=-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD5}=3.3\text{V}$  或  $5.0\text{V}$ ) 如无特别说明, 以下表中所有典型值规格均在  $T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD5}=5.0\text{V}\pm 10\%$ ,  $f_{MCU}=13.1072\text{MHz}$  条件下测得。

参数	最小	典型	最大	单位	说明
<b>Flash 存储器</b>					
Flash 读脉冲宽度		76		ns	
Flash 擦/写次数	20000			次	$-40\sim+85^{\circ}\text{C}$
Flash 数据保持时间	100			年	$25^{\circ}\text{C}$
Flash 数据保持时间	10			年	$85^{\circ}\text{C}$
字节写时间		40		$\mu\text{s}$	
页擦除时间 (512 字节)		40		ms	
全擦除时间		40		ms	
<b>RAM</b>					
RAM 数据保持电压	1.62			V	DVCC 输出电压

## 2.5 典型工作电流

参数	典型	单位	说明
全速工作	3.9	mA	$f_{MCU}=13.1072\text{MHz}$ , $f_{MTCLK}=3276.8\text{kHz}$ , $f_{ADC}=819.2\text{kHz}$ , 开启 4 路 ADC 通道。工作电流范围 2.8 mA~4.2 mA
休眠	6.8	$\mu\text{A}$	数字电源输出 1.8V, 晶振电路和 RTC 正常工作, 系统监控电路正常工作, RAM 保持数据, 电压监测电路以及复位电路正常工作。工作电流范围 4.5~8.6 $\mu\text{A}$
休眠 (部分 ram 掉电)	4.5	$\mu\text{A}$	数字电源输出 1.5V, 晶振电路和 RTC 正常工作, 系统监控电路正常工作, RAM 中仅 xram 的高 128 字节保持数据, 电压监测电路以及复位电路正常工作。
RTC	2.0	$\mu\text{A}$	仅 RTC

第3章 功能框图

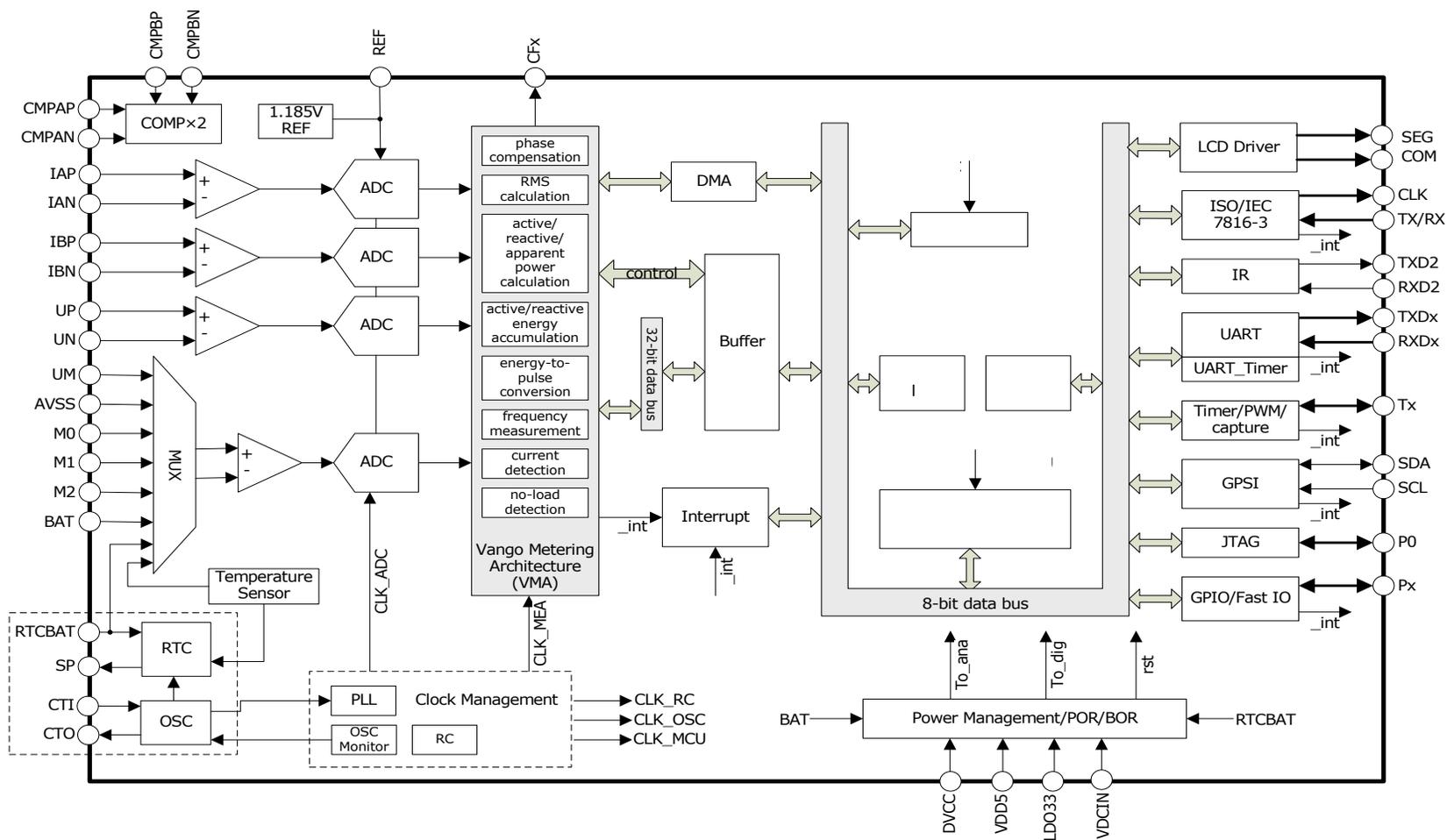


图 3-1 功能框图

## 第4章 8052 MCU 结构

### 4.1 存储器和地址映射

V99XX 内含三个存储器模块，分别映射到不同的地址空间：

- 256B 的内部 SRAM (IRAM)，为 8052 MCU 的片上数据存储器，与 SFR 映射到同一地址空间；
- 8KB 的内部扩展 SRAM (XRAM)，与外设寄存器映射到 8052 MCU 的数据存储器空间；
- 128KB 的片上 Flash 存储器，映射到 8052 MCU 的程序存储器空间。

#### 4.1.1 IIRAM 和 SFR

IRAM 是 8052 MCU 的内部数据存储器，共 256 字节。实现 CPU 的堆栈、工作寄存器组以及通用片内存储器（高 128 字节，只能间接寻址）。IRAM 中保存的数据在 DVCC 输出电压大于 1.62V 的条件下不会丢失，也不受复位的影响。地址范围 0x00 ~ 0xFF。

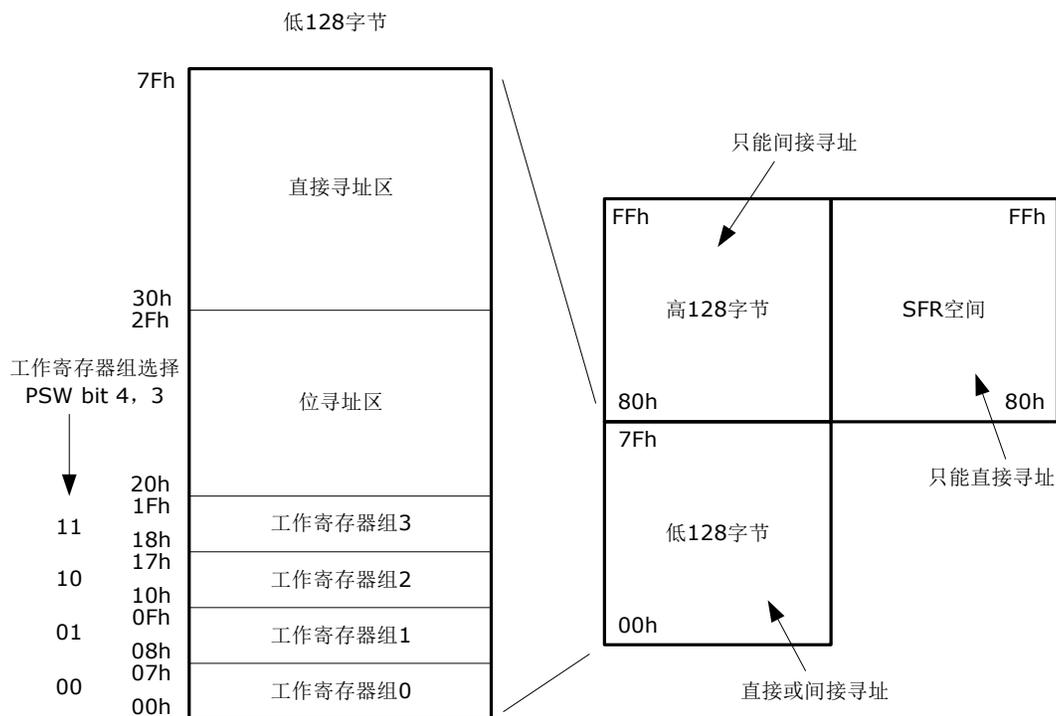


图 4-1 IIRAM 和 SFR

低 128 字节 IIRAM 的空间组织结构如图 IIRAM 和 SFR 所示。最低端的 32 个字节地址 00h ~ 1Fh 形成了四组分别由 8 个寄存器 (R0 到 R7) 构成的工作寄存器组。通过配置程序状态字寄存器 (PSW SFR, 0xD0) 的 BIT4 (RS1) 和 Bit3 (RS0) 两个位，选择当前使用的是哪个工作寄存器组，详见表寄存器组选择。地址 20h ~ 2Fh 共 16 个字节形成了可位寻址存储区域，位地址从 00h 到 7Fh。所有的低 128 字节 IIRAM 都可以利用直接寻址或者间接寻址的方式进行访问。

表 4-1 寄存器组选择

寄存器	位	默认值	说明
0xD0, 程序状态字寄存器, PSW SFR	Bit[4:3] RS1/RS0	0	寄存器组选择位。默认为 0。 00, 工作寄存器组 0, 地址: 00h~07h; 01, 工作寄存器组 1, 地址: 08h~0Fh; 10, 工作寄存器组 2, 地址: 10h~17h; 11, 工作寄存器组 3, 地址: 18h~1Fh

高 128 字节 IRAM 与 SFR 寄存器共享一段相同的地址范围 (80h 到 FFh)。但是, 上述两者真正的地址空间是相互独立的, 并且利用不同的寻址方式进行访问: SFR 可直接寻址访问; 高 128 字节 IRAM 只能间接寻址访问。

### 4.1.2 数据存储器空间

8192 字节的 XRAM 和外设寄存器都映射到数据存储器空间。

XRAM 的地址范围为 0000h~1FFFh, 均可被自由访问。XRAM 中保存的数据在 DVCC 输出电压大于 1.4V 的条件下不会丢失, 也不受复位的影响。

在芯片出厂前, 芯片数据存储空间的 0x400~0x5FF (Info 区, 只读) 存储了芯片的信息, 用户不用关心。

数据存储器空间中, 除 IRAM、XRAM、RTC 校正寄存器、RTC 计时寄存器和 Info 区的内容外, 所有外设寄存器均可被复位, 其中, 除 RTC 校正寄存器和计时寄存器以外的 RTC 其它寄存器、Systate、IOWKDET、LCD/GPIO/模拟控制寄存器/电能计量相关寄存器只会被等级 1 的复位设置为默认值, 其他寄存器会被等级 1/2/3 的复位设置为默认值。Info 区的内容不会被复位, 但是, 发生等级 1 的复位事件后, 该范围内的数据需要 2ms 的稳定时间, 之后, CPU 开始正常执行 Flash 中的程序。

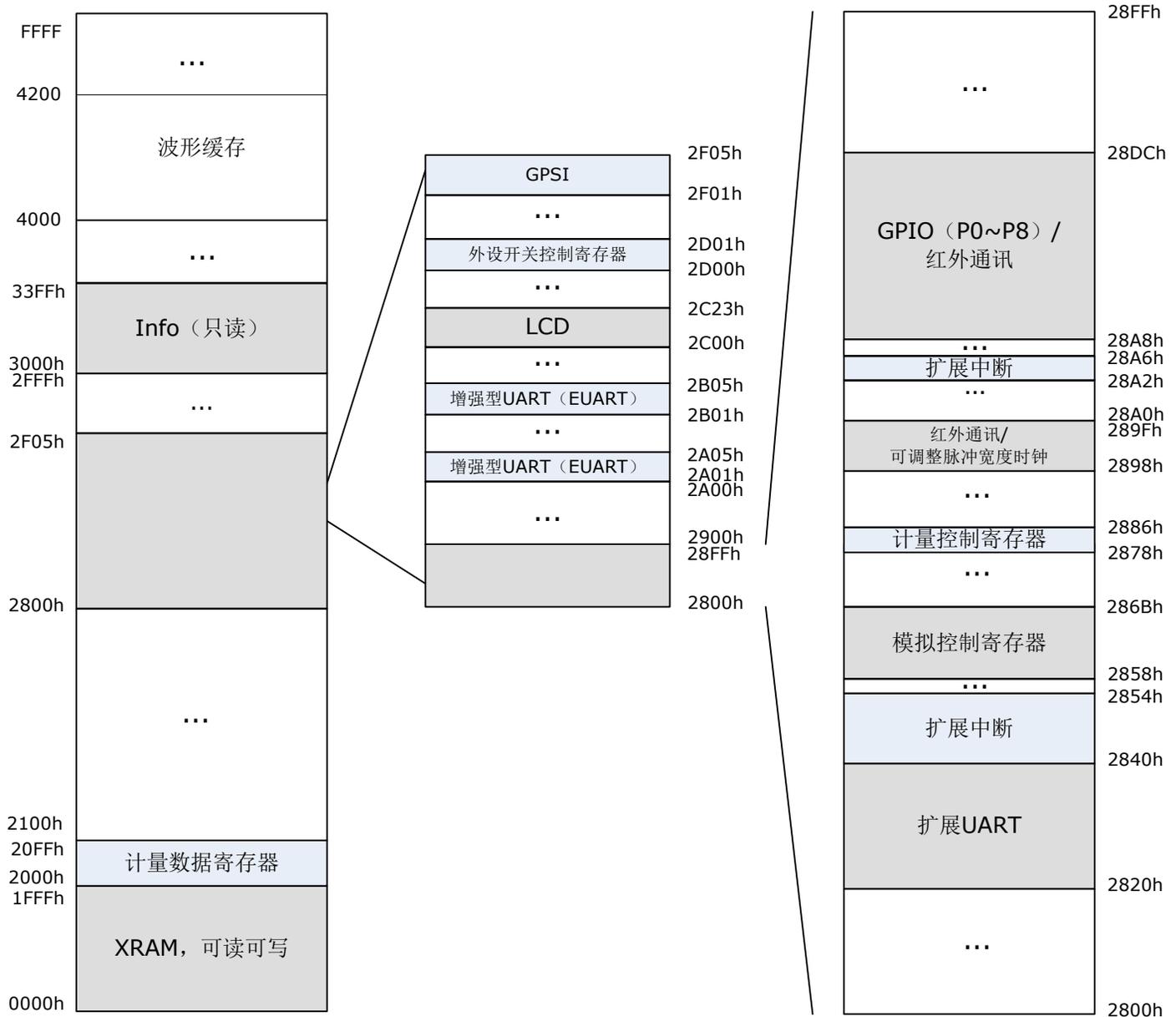


图 4-2 数据存储器空间分配

### 4.1.3 程序存储器空间

128KB 的片上 Flash 存储器（包括程序加密字节）和 Flash 控制寄存器映射到 MCU 的程序存储器空间。其中，Flash 控制寄存器控制着 Flash 的编程模式和功耗模式等，它们映射到程序存储器空间地址 0x0400、0x0401 和 0x0402，读出值无意义。0x400 到 0x5FF 区域存储芯片信息，用户不可用，程序开发时需要避开。具体存放信息见 Info 区地址分配。

表 4-2 Info 区地址分配

起始地址	功能说明	字节数	存储模式
0x400	保留	32	小端
0x420	a	4	小端
0x424	b	4	小端
0x428	c	4	小端
0x42C	d	4	小端
0x430	e	4	小端
0x434	ADD33 值	2	小端
0x436	保留	2	小端
0x438	a	4	小端
0x43C	b	4	小端
0x440	c	4	小端
0x444	d	4	小端
0x448	e	4	小端
0x44C	ADD33 值	2	小端
0x44E	保留	2	小端
0x450	a	4	小端
0x454	b	4	小端
0x458	c	4	小端
0x45C	d	4	小端
0x460	e	4	小端
0x464	ADD33 值	2	小端
0x466	保留	26	小端
0x480	温度偏移值备份一	2	大端
0x482	ADD33 值	2	大端
0x484	温度偏移值备份二	2	大端
0x486	ADD33 值	2	大端
0x488	温度偏移值备份三	2	大端
0x48A	ADD33 值	2	大端
0x48C	RTC 常温偏移备份一	2	大端
0x48E	ADD33 值	2	大端
0x490	RTC 常温偏移备份二	2	大端
0x492	ADD33 值	2	大端

起始地址	功能说明	字节数	存储模式
0x494	RTC 常温偏移备份三	2	大端
0x496	ADD33 值	2	大端
0x498	晶体二次校准系数备份一	20	大端
0x4AC	ADD33 值	2	大端
0x4AE	晶体二次校准系数备份二	20	大端
0x4C2	ADD33 值	2	大端
0x4C4	晶体二次校准系数备份三	20	大端
0x4D8	ADD33 值	2	大端
0x4DA	晶体定点温度备份一	2	大端
0x4DC	ADD33 值	2	大端
0x4DE	晶体定点温度备份二	2	大端
0x4E0	ADD33 值	2	大端
0x4E2	晶体定点温度备份三	2	大端
0x4E4	ADD33 值	2	大端
0x4E6	保留	2	大端
0x4E8	标准 RTC 捕获值	4	大端
0x4EC	目标芯片 RTC 捕获值	4	大端
0x4F0	保留	4	大端
0x4F4	SD502 版本号	4	大端
0x4F8	温度校正时的环境温度	4	大端
0x4FC	温度校正前的被校正芯片温度	4	大端
0x500	保留	256	

\*温度曲线参数 A/B/C/D/E 和温度常温偏移值的描述，详见“测量温度”；

\*\*用户可以从上述地址读取 RTC 校正程序所需的晶体频率常温偏移值、晶体二次校准系数和晶体顶点温度的信息，进行 RTC 校正，可以对不同厂家晶体信息进行配置，详见 RTC 校正相关的应用笔记。

V99XX 集成了 128KB 的片上 Flash 存储器，Flash 存储器具有写保护和加密功能，支持系统通过 ISP（在系统中编程，In-System Programming）和 IAP（在应用编程，In-Application Programming）方式对 Flash 存储器的内容进行访问和修改。

片上 Flash 存储器被分为 256 页，每页 512 字节。IAP 保护以两页(1K 字节)为单位。

表 4-3 Flash 控制寄存器 0 (FCtrl0, 0x0400)

0x0400, W, Flash 控制寄存器 0, FCtrl0		
位	默认值	功能说明

0x0400, W, Flash 控制寄存器 0, FCtrl0

位		默认值	功能说明
Bit[7]	保留	X	未使用
Bit[6:0]		0x7F	IAP 保护范围设置

- 在非编程状态下, 0x00400 地址写入时为 IAP 控制, 随时可以写入。读出无意义。
- 在非编程状态下, 写入 0x00400 的 bit6~0 以 1K 字节为单位控制 IAP 的范围。地址以 1K 字节为单位, 对这些地址块进行编号, 从 0~127。地址块的编号大于此寄存器的值, 允许 IAP; 小于或者等于此寄存器, 禁止 IAP; 复位后默认全部禁止 IAP; 0~1K 地址总是禁止 IAP。

表 4-4 Flash 控制寄存器 1 (FCtrl1, 0x0401)

0x0401, W, Flash 控制寄存器 1, FCtrl1

位		默认值	功能说明
Bit[7:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 这些位必须采用默认值。

表 4-5 Flash 控制寄存器 2 (FCtrl2, 0x0402)

0x0402, W, Flash 控制寄存器 2, FCtrl2

位		默认值	功能说明
Bit7		-	只有当该位为 1 时, 对其它位的写操作才有效。
Bit6	CKSL	0	当 MCU 时钟频率 ( $f_{MCU}$ ) 为 3.2768MHz 时, 向该位写 0, 才能对 Flash 存储器进行编程、页擦除或全擦除操作; 当 $f_{MCU}=13.1072\text{MHz}$ 时, 向该位写 1, 才能对 Flash 存储器进行编程、页擦除或全擦除操作。
Bit[5:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 这些位必须采用默认值。

**注意:**

000400h~0005FFh 字节 (即第 3 页) 在出厂前已经预存了芯片相关的信息, 所以, 该页不能用于存储应用程序。

因为 V99XX 集成的 MCU 的地址总线宽度为 16-bit, 最多只能寻址 64KB 的程序存储器空间。所以, 对于超过 64KB 的应用程序, 用户可采用代码分页 (Code Banking) 技术, 将应用程序分成多个小于或等于 32KB 的代码段, 通过代码段选择寄存器 (CBANK, SFR 0xA0), 并结合软件, 将这些代码段烧写入 Flash 中, 供 MCU 访问。其中, Flash 存储器的 000000h~007FFFh 字节的内容 (即图 4-3 中的 Common Area) 总是映射到程序存储器空间 0x0000~0x7FFF 区域; 而 Flash 存储器 008000h~01FFFFh 字节的内容 (即图 4-3 中的 Bank1/Bank2/Bank3) 则根据代码段选择寄存器 (CBANK, SFR 0xA0) 的配置, 以 32KB 为单位, 选择性地映射到程序存储器空间地址 0x8000~0xFFFF 区域。

表 4-6 代码段选择寄存器 (CBANK, SFR 0xA0)

SFR 0xA0, R/W, 代码段选择寄存器, CBANK

位		默认值	功能说明
bit[7:2]	保留	0	

SFR 0xA0, R/W, 代码段选择寄存器, CBANK

位		默认值	功能说明
bit[1:0]	B<1:0>	01	选择代码段。 01, Bank1; 10, Bank2; 11, Bank3

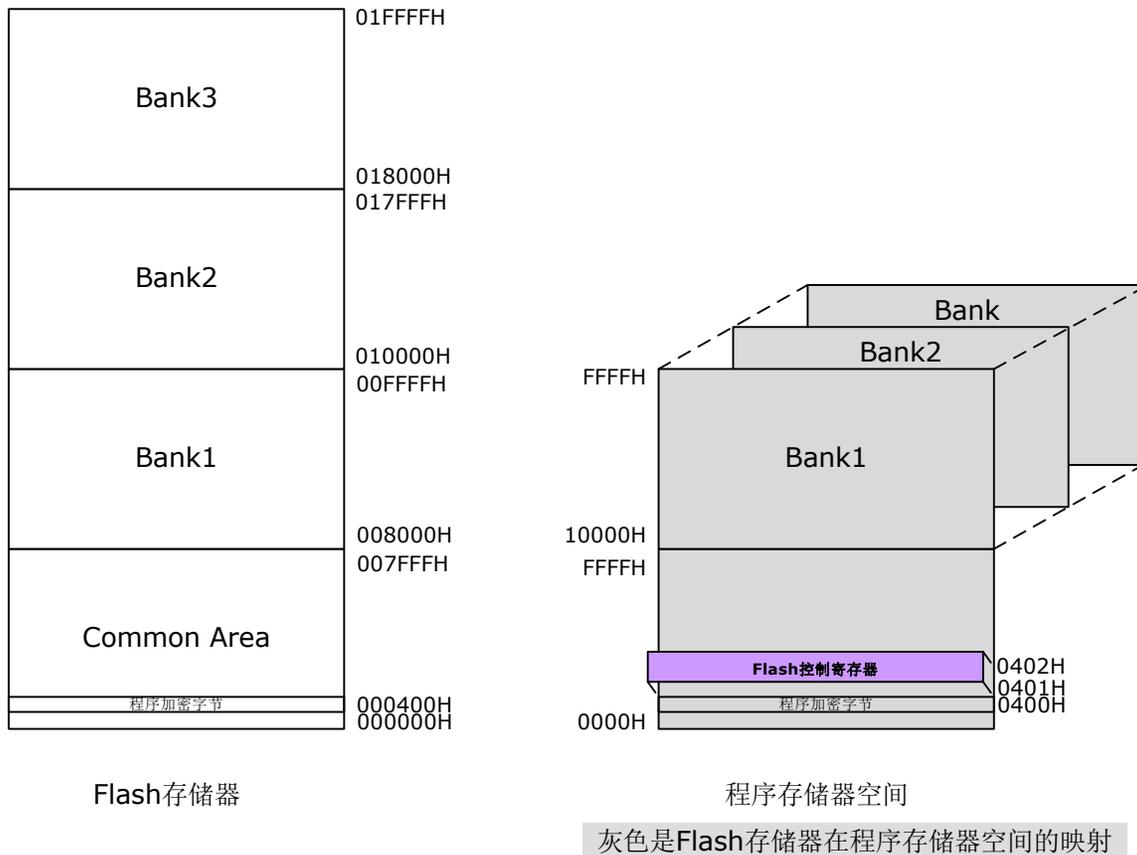


图 4-3 程序存储器空间分配

当 MODE1 引脚输入低电平时, 芯片处于调试模式。此时, 芯片的 4 个 P0 端口复用为 JTAG 端口, 通过 JTAG 端口可以访问片内硬件的实时调试电路, 使用 Vango 提供的 DLL 和编程器, 在 Keil  $\mu$ Vision IDE 或 IAR IDE 环境下进行调试和 ISP 操作。

调试时, 请注释掉源程序中关于从 PLL 切换到 OSC 时钟, 进行休眠等语句。

在调试模式下, 系统无法进入休眠, WDT 溢出复位被屏蔽, 且 WDT 溢出复位不会在系统状态寄存器 (Systate, SFR 0xA1) 中置标志位。处于休眠状态时, 系统进入调试模式会产生一个恢复供电复位信号。

建议不在 JTAG 端口 (P0) 上接电容, 以免程序烧写失败。

ISP 操作结束后, 需要对芯片进行硬件复位 (片外输入 RSTn 复位) 或者重新上电操作, 以保证 ISP 读操作加密保护功能可靠生效。

## 4.2 指令集

指令集与业界标准的 8051 指令二进制代码兼容，指令集的功能也完全一样。不过，每个指令周期所需的时钟周期个数以及每个指令周期的执行时序与标准 8051 指令集的时序有所差异。一个指令周期包含 4 个时钟周期。

表 4-7 指令集

符号	功能			
A	累加器			
Rn	寄存器 R0 到 R7			
Direct	直接寻址的内部寄存器地址			
@Ri	由 R0 或者 R1 作为指针所指向的内部寄存器（MOVX 指令除外）			
Rel	补码表示的偏移地址			
Bit	直接寻址的位地址			
#data	8 位常数			
#data 16	16 位常数			
addr 16	16 位目标地址			
addr 11	11 位目标地址			
指令	功能描述	字节数	指令周期	Hex 格式代码
算术指令				
ADD A, Rn	把 Rn 的值加到 A 上	1	1	28 - 2F
ADD A, direct	把直接寻址的内部寄存器地址中的内容加到 A 上	2	2	25
ADD A, @Ri	把 Ri 寻址的内部寄存器的值加到 A 上	1	1	26 - 27
ADD A, #data	把立即数的值加到 A 上	2	2	24
ADDC A, Rn	连同进位一起把 Rn 的值加到 A 上	1	1	38 - 3F
ADDC A, direct	连同进位一起把直接寻址的内部寄存器地址中的内容加到 A 上	2	2	35
ADDC A, @Ri	连同进位一起把 Ri 寻址的内部寄存器的值加到 A 上	1	1	36 - 37
ADDC A, #data	连同进位一起把立即数加到 A 上	2	2	34
SUBB A, Rn	连同借位一起从 A 中减去寄存器的值	1	1	98 - 9F
SUBB A, direct	连同借位一起从 A 中减去直接寻址的内部寄存器地址中的内容	2	2	95
SUBB A, @Ri	连同借位一起从 A 中减去 Ri 寻址的内部寄存器的值	1	1	96 - 97
SUBB A, #data	连同借位一起从 A 中减去立即数的值	2	2	94
INC A	A 的值自加 1	1	1	04

INC Rn	Rn 的内容自加 1	1	1	08 - 0F
INC direct	直接寻址的内部寄存器地址字节内容自加 1	2	2	05
INC @Ri	Ri 寻址的内部寄存器的值自加 1	1	1	06 - 07
DEC A	A 的值自减 1	1	1	14
DEC Rn	Rn 的内容自减 1	1	1	18 - 1F
DEC direct	直接寻址的内部寄存器地址字节内容自减 1	2	2	15
DEC @Ri	Ri 寻址的内部寄存器内容自减 1	1	1	16 - 17
INC DPTR	DPTR 数据指针自加 1	1	3	A3
MUL AB	A 乘 B	1	5	A4
DIV AB	除法运算, A 是被除数, B 是除数	1	5	84
DA A	对 A 进行十进制调整	1	1	D4
逻辑运算指令				
ANL A, Rn	Rn 对 A 进行逻辑与运算	1	1	58 - 5F
ANL A, direct	直接寻址的内部寄存器地址字节内容对 A 进行逻辑与运算	2	2	35
ANL A, @Ri	Ri 寻址的内部寄存器内容对 A 进行逻辑与运算	1	1	56 - 57
ANL A, #data	立即数对 A 进行逻辑与运算	2	2	54
ANL direct, A	A 对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑与运算	2	2	52
ANL direct, #data	立即数对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑与运算	3	3	53
ORL A, Rn	Rn 对 A 进行逻辑或操作	1	1	48 - 4F
ORL A, direct	直接寻址的内部寄存器地址字节内容对 A 进行逻辑或操作	2	2	45
ORL A, @Ri	Ri 寻址的内部寄存器对 A 进行逻辑或操作	1	1	46 - 47
ORL A, #data	立即数对 A 进行逻辑或操作	2	2	44
ORL direct, A	A 对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑或运算	2	2	42
ORL direct, #data	立即数对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑或运算	3	3	43
XRL A, Rn	Rn 对 A 进行逻辑异或操作	1	1	68 - 6F
XRL A, direct	直接寻址的内部寄存器地址字节内容对 A 进行逻辑异或操作	2	2	65
XRL A, @Ri	Ri 寻址的内部寄存器对 A 进行逻辑异或操作	1	1	66 - 67
XRL A, #data	立即数对 A 进行逻辑异或操作	2	2	64
XRL direct, A	A 对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑异或操作	2	2	62
XRL direct, #data	立即数对直接寻址的内部寄存器地址字节内容进行逻辑异或操作	3	3	63
CLR A	清空 A 的值	1	1	E4

CPL A	对 A 的值取反	1	1	F4
SWAP A	对 A 的高 4 位和低 4 位进行互换	1	1	C4
RL A	A 向左进行逻辑移位	1	1	23
RLC A	A 通过进位 C 向左进行逻辑移位	1	1	33
RR A	A 向右进行逻辑移位	1	1	03
RRC A	A 通过进位 C 向右进行移位	1	1	13
数据传输指令				
MOV A, Rn	把 Rn 的值传输给 A	1	1	E8 - EF
MOV A, direct	把直接寻址的内部寄存器地址字节内容传输给 A	2	2	E5
MOV A, @Ri	把 Ri 寻址的内部寄存器的值传输给 A	1	1	E6 - E7
MOV A, #data	把立即数传输给 A	2	2	74
MOV Rn, A	把 A 传输给 Rn 寄存器	1	1	F8 - FF
MOV Rn, direct	把直接寻址的内部寄存器地址字节传输给 Rn 寄存器	2	2	A8 - AF
MOV Rn, #data	把立即数传输给 Rn 寄存器	2	2	78 - 7F
MOV direct, A	把 A 传输给直接寻址的内部寄存器地址字节	2	2	F5
MOV direct, Rn	把 Rn 的内容传输给直接寻址的内部寄存器地址字节	2	2	88 - 8F
MOV direct, direct	把直接寻址的内部寄存器地址字节内容传输给另外一个直接寻址的内部寄存器地址字节	3	3	85
MOV direct, @Ri	把 Ri 寻址的内部寄存器的值传输给直接寻址的内部寄存器地址字节	2	2	86 - 87
MOV direct, #data	把立即数送到直接寻址的内部寄存器地址字节	3	3	75
MOV @Ri, A	把 A 的值传输到 Ri 寻址的内部寄存器	1	1	F6 - F7
MOV @Ri, direct	把直接寻址的内部寄存器地址字节的值传输给 Ri 寻址的内部寄存器	2	2	A6 - A7
MOV @Ri, #data	把立即数送到 Ri 寻址的内部寄存器	2	2	76 - 77
MOV DPTR, #data	把立即数送到数据指针寄存器中	3	3	90
MOVC A, @A+DPTR	把 DPTR+A 寻址的程序指令字节传输到 A 中	1	3	93
MOVC A, @A+PC	把 PC+A 寻址的程序指令字节传输到 A 中	1	3	83
MOVX A, @Ri	把 Ri 寻址的外部数据空间数据（8 位地址）传输到 A	1	2 9*	E2 - E3
MOVX A, @DPTR	把 DPTR 寻址的外部数据空间数据（16 位地址）传输到 A	1	2 9*	E0
MOVX @Ri, A	把 A 的内容传输到 Ri 寻址的外部数据空间字节（8 位地址）	1	2 9*	F2 - F3

MOVX @DPTR, A	把 A 的内容传输到 DPTR 寻址的外部数据空间字节（16 位地址）	1	2 9*	F0
PUSH direct	把直接寻址的内部寄存器地址字节内容压入堆栈顶端	2	2	C0
POP direct	把堆栈顶端字节出栈，送入直接寻址的内部寄存器地址字节	2	2	D0
XCH A, Rn	A 和 Rn 寄存器内容互换	1	1	C8 - CF
XCH A, direct	A 和直接寻址的内部寄存器地址字节内容互换	2	2	C5
XCH A, @Ri	A 和 Ri 寻址的内部寄存器内容互换	1	1	C6 - C7
XCHD A, @Ri	A 和 Ri 寻址的内部寄存器交换低半字节的内容	1	1	D6 - D7

\* 通过寄存器可以选择指令周期个数。

#### 位操作指令

CLR C	清除进位	1	1	C3
CLR bit	清除直接寻址位	2	2	C2
SETB C	置进位	1	1	D3
SETB bit	置直接寻址位	2	2	D2
CPL C	进位取反	1	1	B3
CPL bit	直接寻址位取反	2	2	B2
ANL C, bit	直接寻址位对进位作与操作	2	2	82
ANL C, /bit	直接寻址位取反后对进位作与操作	2	2	B0
ORL C, bit	直接寻址位对进位作或运算	2	2	72
ORL C, /bit	直接寻址位取反后对进位作或运算	2	2	A0
MOV C, bit	把直接寻址位传输到进位	2	2	A2
MOV bit, C	把进位传输到直接寻址位	2	2	92

#### 分支跳转指令

ACALL addr 11	子程序的绝对调用	2	3	11 - F1
LCALL addr 16	子程序的长调用	3	4	12
RET	从子程序中返回	1	4	22
RETI	从中断中返回	1	4	32
AJMP addr 11	无条件绝对跳转	2	3	01 - E1
LJMP addr 16	无条件长跳转	3	4	02
SJMP rel	短跳转到相对地址	2	3	80
JC rel	在进位 carry = 1 的情况下跳转到相对地址	2	3	40
JNC rel	在进位 carry = 0 的情况下跳转到相对地址	2	3	50
JB bit, rel	在直接寻址位等于 1 的情况下跳转到相对地址	3	4	20

JNB bit, rel	在直接寻址位等于 0 的情况下跳转到相对地址	3	4	30
JBC bit, rel	在直接寻址位等于 1 的情况下跳转到相对地址，并清除进位	3	4	10
JMP @A + DPTR	跳转到 A + DPTR 间接寻址的地址	1	3	73
JZ rel	在累加器 ACC 等于 0 的情况下跳转到相对地址	2	3	60
JNZ rel	在累加器 ACC 不等于 0 的情况下跳转到相对地址	2	3	70
CJNE A, direct, rel	比较 A 和直接寻址字节内容，在不相等的情况下跳转到相对地址	3	4	B5
CJNE A, #d, rel	比较 A 和立即数的值，在不相等的情况下跳转到相对地址	3	4	B4
CJNE Rn, #d, rel	比较 Rn 寄存器和立即数的值，在不相等的条件下跳转到相对地址	3	4	B8 - BF
CJNE @Ri, #d, rel	比较 Ri 简介寻址的内部寄存器和立即数的值，在不相等的条件下跳转到相对地址	3	4	B6 - B7
DJNZ Rn, rel	Rn 寄存器递减，如果不等于 0 则跳转到相对地址	2	3	D8 - DF
DJNZ direct, rel	直接寻址字节的内容递减，如果不等于 0 则跳转到相对地址	3	4	D5
其他指令				
NOP	空操作	1	1	00

还有一个保留的指令代码（A5）与 NOP 指令的作用相同。

### 4.3 可编程的 MOVX 访问周期

应用程序利用存储器访问周期可编程这个特点，可以调整访问数据存储器或者寄存器的速度。CPU 可以在最少两个指令周期内完成执行 MOVX 指令，但是某些情况下可能不需要这么快。

CPU 中的时钟周期控制寄存器（CKCON SFR, 0x8E）中的最低 3 位控制着 MOVX 访问周期的扩展值。MD2 ~ 0 是 CKCON SFR 的低 3 位（CKCON.2 ~ 0），可以在 0 到 7 之间设置存储器访问周期的扩展值：

- 扩展值为 0，表明在存储器访问周期中不增加任何扩展的周期，所以 MOVX 指令的执行依然仅需要两个指令周期。
- 扩展值为 7，表明在存储器访问周期中增加了额外的 7 个指令周期，所以 MOVX 指令的执行需要 9 个指令周期。

在程序的控制下，扩展周期值可以随时动态地进行改变。扩展周期值会影响读/写控制信号脉冲的宽度以及所有其他有关的时序。扩展周期值越大，读/写控制信号脉冲的宽度就越宽。在 CPU 复位后，扩展周期的默认值是 1，即执行 MOVX 指令需要 3 个指令周期。

表 4-8 时钟周期控制寄存器（CKCON SFR, SFR 0x8E）

SFR 0x8E, R/W, 时钟周期控制寄存器, CKCON SFR				
位		默认值	功能	说明
Bit[7:6]	保留	0		
Bit5	T2M	0	Timer2 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。

SFR 0x8E, R/W, 时钟周期控制寄存器, CKCON SFR

位		默认值	功能	说明
Bit4	T1M	0	Timer1 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
Bit3	T0M	0	Timer0 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
Bit[2:0]	MD2/MD1/MD0	1	MOVX 访问周期的扩展值	详见“可编程的 MOVX 访问周期”

\*clk 表示 MCU 时钟（时钟 1）信号频率。

表 4-9 可编程的 MOVX 访问周期

设置存储器访问周期扩展值			存储器访问周期	读/写脉冲宽度（时钟周期个数）
MD2	MD1	MD0		
0	0	0	2	2
0	0	1	3（默认值）	4
0	1	0	4	8
0	1	1	5	12
1	0	0	6	16
1	0	1	7	20
1	1	0	8	24
1	1	1	9	28

## 4.4 双数据指针

在进行大量的块数据移动时，使用双数据指针可以大幅提高效率。

CPU 中标准数据指针为 DPTR0，SFR 地址是 0x82（DPL0 SFR）和 0x83（DPH0 SFR）。第二个数据指针为 DPTR1，SFR 地址是 0x84（DPL1 SFR）和 0x85（DPH1 SFR）。在 DPTR 选择寄存器（DPS SFR, 0x86）中，通过设置 Bit 0（SEL 位）选择当前有效的数据指针。当 SEL = 0 时，程序所使用的 DPTR 是 DPL0 SFR（0x82）和 DPH0 SFR（0x83）。当 SEL = 1 时，程序所使用的 DPTR 是 DPL1 SFR（0x84）和 DPH1 SFR（0x85）。除 Bit0（SEL 位）外，DPS SFR 中的其他位都没有被使用。

所有与 DPTR 有关的指令都使用当前被选中的数据指针。切换 SEL 位的值就可以切换当前有效的数据指针。实现这个目的最快的方法就是使用递加指令（INC DPS），从一个源地址切换到一个目标地址只需要一条指令。当进行块数据移动时，不必先保存源地址和目标地址，从而节省了程序代码的数量。

## 第5章 特殊功能寄存器 (SFR)

表 5-1 特殊功能寄存器列表 (SFR)

地址	寄存器	Bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	Bit 2	bit 1	bit 0
80h	SysCtrl	MEAFRQ	FWC	FSC	PMG	LCDG	SLEEP1	SLEEP0	MCUFRQ
81h	SP	-	-	-	-	-	-	-	-
82h	DPL0	-	-	-	-	-	-	-	-
83h	DPH0	-	-	-	-	-	-	-	-
84h	DPL1	-	-	-	-	-	-	-	-
85h	DPH1	-	-	-	-	-	-	-	-
86h	DPS	0	0	0	0	0	0	0	SEL
87h	PCON	SMOD0	-	1	1	GF1	GF0	STOP	IDLE
88h	TCON	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
89h	TMOD	GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
8Ah	TL0	-	-	-	-	-	-	-	-
8Bh	TL1	-	-	-	-	-	-	-	-
8Ch	TH0	-	-	-	-	-	-	-	-
8Dh	TH1	-	-	-	-	-	-	-	-
8Eh	CKCON	-	-	T2M	T1M	T0M	MD2	MD1	MD0
8Fh	SPCFNC	0	0	0	0	0	0	0	WRS
90h	RTCPEN	-	-	-	-	-	-	-	-
91h	EXIF	IE5	IE4	IE3	IE2	1	0	0	0
92h	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
93h	RTCYC	Y80	Y40	Y20	Y10	Y8	Y4	Y2	Y1

V99xx 数据手册  
特殊功能寄存器（SFR）

地址	寄存器	Bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	Bit 2	bit 1	bit 0
94h	RTCCH	-	-	C13	C12	C11	C10	C9	C8
95h	RTCCL	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
96h	INTRTC	-	-	-	-	-	RTC2	RTC1	RTC0
97h	RTCPWD	-	-	-	-	-	-	-	WE
98h	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
99h	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
9Ah	RTCSC	-	S40	S20	S10	S8	S4	S2	S1
9Bh	RTCMiC	-	M40	M20	M10	M8	M4	M2	M1
9Ch	RTCHC	-	-	H20	H10	H8	H4	H2	H1
9Dh	RTCDC	-	-	D20	D10	D8	D4	D2	D1
9Eh	RTCWC	-	-	-	-	W8	W4	W2	W1
9Fh	RTCMoC	-	-	-	Mo10	Mo8	Mo4	Mo2	Mo1
A0h	CBANK	-	-	-	-	-	-	B1	B0
A1h	Systate	-	P14WK	RST	-	IO	RTC/CF	PWRDN	PWRUP
A2h	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
A3h	PLLLCK	-	-	-	-	-	-	-	PLLLCK
A4h	P9OE	P97OEN	P96OEN	P95OEN	P94OEN	P93OEN	P92OEN	P91OEN	P90OEN
A5h	P9IE	P97INEN	P96INEN	P95INEN	P94INEN	P93INEN	P92INEN	P91INEN	P90INEN
A6h	P9OD	-	-	-	-	-	-	-	-
A7h	P9ID	-	-	-	-	-	-	-	-
A8h	IE	EA	ES1	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0
A9h	P10OE	P107OEN	P106OEN	P105OEN	P104OEN	P103OEN	P102OEN	P101OEN	P100OEN
Aah	P10IE	P107INEN	P106INEN	P105INEN	P104INEN	P103INEN	P102INEN	P101INEN	P100INEN
Abh	P10OD								

V99xx 数据手册  
特殊功能寄存器（SFR）

地址	寄存器	Bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	Bit 2	bit 1	bit 0
Ach	P10ID								
Adh	P9FS	P97FNC	P96FNC	P95FNC	P94FNC	P93FNC	P92FNC	P91FNC	P90FNC
Aeh	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
Afh	IOWKDET	-	-	-	P24WK	CFWK	P03WK	P02WK	P14WK
B8h	IP	1	PS1	PT2	PS0	PT1	PX1	PT0	PX0
C0h	SCON1	SM0_1	SM1_1	SM2_1	REN_1	TB8_1	RB8_1	TI_1	RI_1
C1h	SBUF1	-	-	-	-	-	-	-	-
C6h	RSTSTS	-	-	-	-	-	WDT	RSTn	POR
C7h	IOEDG	P03EDG<1 >	P03EDG<0 >	P02EDG<1 >	P02EDG<0 >	P14EDG<1 >	P14EDG<0 >	P13EDG<1 >	P13EDG<0 >
C8h	T2CON	TF2	EXF2	-	-	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2
C9h	IOWK	-	-	P24EDG<1 >	P24EDG<0 >	RAMPDNEN	CFWKEN	IOP0	IORSTN
Cah	RCAP2L	-	-	-	-	-	-	-	-
CBh	RCAP2H	-	-	-	-	-	-	-	-
CCh	TL2	-	-	-	-	-	-	-	-
CDh	TH2	-	-	-	-	-	-	-	-
Ceh	WDTEN	-	-	-	-	-	-	-	-
CFh	WDTCLR	-	-	-	-	-	-	-	-
D0h	PSW	CY	AC	-	RS1	RS0	OV	-	P
D8h	EICON	SMOD1	1	-	-	PFI	0	0	0
D9h	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-
Dah	RDRTC	-	-	-	-	-	-	-	-
DBh	DIVTHH	DIV23	DIV22	DIV21	DIV20	DIV19	DIV18	DIV17	DIV16
DCh	DIVTHM	DIV15	DIV14	DIV13	DIV12	DIV11	DIV10	DIV9	DIV8

V99xx 数据手册  
特殊功能寄存器（SFR）

地址	寄存器	Bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	Bit 2	bit 1	bit 0
DDh	DIVTHL	DIV7	DIV6	DIV5	DIV4	DIV3	DIV2	DIV1	DIV0
Deh	PLLNT	-	-	-	-	-	-	STT1	STT0
DFh	SECINT	-	1	SEC5	SEC4	SEC3	SEC2	SEC1	SEC0
E0h	ACC	-	-	-	-	-	-	-	-
E8h	EIE	1	1	1	EWDI	EX5	EX4	EX3	EX2
F0h	B	-	-	-	-	-	-	-	-
F8h	EIP	1	1	1	PWDI	PX5	PX4	PX3	PX2

阴影区域为用户 SFR。

## 第6章 模拟控制寄存器

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位，或 WDT 溢出复位时，所有模拟控制寄存器被复位。

模拟控制寄存器的地址范围为 0x2858~0x286B，均可读可写。为保证系统正常工作，寄存器 0x285F 必须配置为默认值，0x2869 用户建议不作配置，0x286A 用户需要读出原始默认值后根据相应应用进行配置。

用户可在 Info 区的地址范围内读取模拟控制寄存器的推荐配置，并将该配置写入相应的寄存器。

表 6-1 ADC 控制寄存器 0 (CtrlADC0, 0x2858)

0x2858, R/W, ADC 控制寄存器 0, CtrlADC0			
位		默认值	功能说明
bit7	保留	0	为保证系统正常工作，必须保证为 0。
Bit6	ADCGU	0	电压通道 (U) ADC 的模拟增益控制。为保证系统正常工作，必须配置为 0 (×1 倍)。 0: ×1; 1: ×2。
Bit[5:3]	ADCGB<2:0>	0	电流通道 B (IB) ADC 的模拟增益控制。 为了保证传感器的输出信号大小与 ADC 量程相匹配，不可使用默认值。 000: ×1; 001: ×4; 010: ×8; 011: ×16; 100/101/110/111: ×32。
Bit[2:0]	ADCGA<2:0>	0	电流通道 A (IA) ADC 的模拟增益控制。 为了保证传感器的输出信号大小与 ADC 量程相匹配，不可使用默认值。 000: ×1; 001: ×4; 010: ×8; 011: ×16; 100/101/110/111: ×32。

表 6-2 ADC 控制寄存器 1 (CtrlADC1, 0x2859)

0x2859, R/W, ADC 控制寄存器 1, CtrlADC1			
位		默认值	功能说明
bit[7:4]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[3:2]	ADIT2<1:0>	0	ADC 第二级偏置电流调整。建议采用默认值。 00: ×1; 01: ×1.33; 10: ×2; 11: ×2.67。
bit[1:0]	ADIT1<1:0>	0	ADC 第一级偏置电流调整。建议采用默认值。 00: ×1; 01: ×1.33; 10: ×2; 11: ×2.67。

表 6-3 ADC 控制寄存器 2 (CtrlADC2, 0x285A)

0x285A, R/W, ADC 控制寄存器 2, CtrlADC2			
位		默认值	功能说明
bit[7:5]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit4	DITAMP	0	电压通道放大器偏置电流调整。建议采用默认值。 0: ×1; 1: ×0.67。
bit3	ADRSTM	0	发现 ADC 数据异常时, 可将该位置 1, 使能 M 通道 ADC 的调制器积分器复位。默认为 0。
Bit2	ADRSTU	0	发现 ADC 数据异常时, 可将该位置 1, 使能电压通道 ADC 的调制器积分器复位。默认为 0。
Bit1	ADRSTB	0	发现 ADC 数据异常时, 可将该位置 1, 使能 IB 通道 ADC 的调制器积分器复位。默认为 0。
Bit0	ADRSTA	0	发现 ADC 数据异常时, 可将该位置 1, 使能 IA 通道 ADC 的调制器积分器复位。默认为 0。

表 6-4 ADC 控制寄存器 3 (CtrlADC3, 0x285B)

0x285B, R/W, ADC 控制寄存器 3, CtrlADC3			
位		默认值	功能说明
bit[7:5]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit4	ADQIT	0	将该位置 1 使比较器偏置电流增加 50%。该功能默认关闭。
Bit3	SHORTV2	0	将该位置 1 使能电压通道 ADC 内部短路 2。该功能默认关闭。
Bit2	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit1	SHORTI2	0	将该位置 1 使能电流通道 ADC 内部短路 2。该功能默认关闭。
Bit0	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 6-5 电池放电控制寄存器 (CtrlBAT, 0x285C)

0x285C, R/W, 电池放电控制寄存器, CtrlBAT			
位		默认值	功能说明
bit[7:4]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit3	LCDBMOD	0	当 LCD 驱动电路采用 8COM 模式时, 选择 Bias 模式。 0: 1/3 Bias; 1: 1/4 Bias。 当 LCD 驱动电路采用 4COM 或 6COM 模式时, 无论该位配置为何值, 均采用 1/3 Bias 模式。
Bit[2:1]	IITU<1:0>	0	电压通道 ADC 放大器偏置电流调整。 00: 0%; 01: -33%; 11: +33%; 10: +100%。
Bit0	BATDISC	0	使能系统供电电池放电。默认为 0。 1: 使能。

表 6-6 ADC 控制寄存器 4 (CtrlADC4, 0x285D)

0x285D, R/W, ADC 控制寄存器 4, CtrlADC4			
位		默认值	功能说明
bit[7:6]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit5	IAMPITB	0	提高电流通道 B (IB) ADC 工作电流。 1: 增加 50%。
Bit4	IAMPITA	0	提高电流通道 A (IA) ADC 工作电流。 1: 增加 50%。
Bit[3:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 6-7 LCD 驱动电压控制寄存器 (CtrlLCDV, 0x285E)

0x285E, R/W, LCD 驱动电压控制寄存器, CtrlLCDV			
位		默认值	功能说明
bit7	保留		
bit[6:3]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit2	VLCD	0	液晶驱动电压调整。 0: 3.3V; 1: 3.0V。
bit[1:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 6-8 晶振控制寄存器 1 (CtrlCry1, 0x2860)

0x2860, R/W, 晶振控制寄存器 1, CtrlCry1			
位		默认值	功能说明
bit[7:5]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit4	CSEL	0	晶体起振电路内置 12.5pF 电容, 将该位置 1 可将电容减少 2.35pF。
bit3	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[2:0]	XTRSEL<2:0>	0	起振电路电阻调节。 XTRSEL<2>配置为 1, 使 P 端电阻增加 400kΩ。 XTRSEL<1:0>的配置: 00/01: N 端电阻保持初值; 10: N 端电阻增加 128kΩ; 11: N 端电阻增加 64kΩ。 使用 RTC 时, 必须配置为 0b011, 并使能晶体停振复位功能。

表 6-9 晶振控制寄存器 2 (CtrlCry2, 0x2861)

0x2861, R/W, 晶振控制寄存器 2, CtrlCry2			
位		默认值	功能说明
bit7	REFLKEN	0	将该位置 1 使能检测 BandGap 电路上是否漏电。当漏电使基准电压下降超过 3%时即提起中断。
Bit6	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit5	XRESETEN	0	起振电路停振复位使能。 1: 使能。
Bit4	CMPIT	0	模拟比较器偏置电流选择。 0: 20nA; 1: 200nA。
bit[3:2]	CMPSELB<1:0>	0	模拟比较器 CB 的输入信号源选择。 00: 引脚 M2 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 01: 引脚 M1 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 10/11: 引脚 M2 (+) 和 M1 (-) 输入电压比较。
Bit[1:0]	CMPSELA<1:0>	0	模拟比较器 CA 的输入信号源选择。 00: 引脚 CMPAP 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 01: 引脚 CMPAN 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -)

0x2861, R/W, 晶振控制寄存器 2, CtrlCry2

位	默认值	功能说明
		比较; 10/11: 引脚 CMPAP (+) 和 CMPAN (-) 输入电压比较。

表 6-10 BGP 控制寄存器 (CtrlBGP, 0x2862)

0x2862, R/W, BGP 控制寄存器, CtrlBGP

位	默认值	功能说明
bit[7:6]    CURRIT<1:0>	0	ADC 全局偏置电流调整。 00: -33%; 01: 1%; 10: -75%; 11: -66%。 正常计量时建议配置为 0b00; 降频降功耗计量时建议配置为 0b11 (此模式不能用于温度测量)。
Bit[5:4]    RESTL<1:0>	0	粗调 BandGap 温度系数。 00: 0ppm; 01: -70ppm; 10: +140ppm; 11: +70ppm。
Bit[3:1]    REST<2:0>	0	细调 BandGap 温度系数。建议配置为 0b001, 但是用户应根据实际测得的整表温度系数进行修正。 000: 0ppm; 001: +10ppm; 010: +20ppm; 011: +30ppm; 100: -40ppm; 101: -30ppm; 110: -20ppm; 111: -10ppm。
Bit0        BGPCHOPN	0	将该位置 1 禁用斩波去直流失调功能。该功能默认开启。为了改善测温性能, 建议将该位置 0。

表 6-11 ADC 控制寄存器 5 (CtrlADC5, 0x2863)

0x2863, R/W, ADC 控制寄存器 5, CtrlADC5		默认值	功能说明
位			
bit7	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 1。
Bit[6:5]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit4	RESDIV	1	将该位置 1 使能 M 通道内部电阻分压电路, 分压系数为 0.25。 该电路默认开启。
Bit3	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[2:0]	MEAS<2:0>	0	选择 M 通道测量功能。 000:测内部地; 001: 测温度; 010: 测经 BAT 引脚输入的电池电压信号或其它外部直流信号; 011: 保留; 100: 测经 UM 引脚输入的外部直流信号; 101: 测经 M0 引脚输入的外部直流信号; 110: 测经 M1 引脚输入的外部直流信号; 111: 测经 M2 引脚输入的外部直流信号。

当引脚 M0/M1/M2 用于外部直流信号测量输入时, 寄存器 SegCtrl4 (0x2C23) 的 bit7~bit5 必须置 0, 关闭这三个引脚上的 SEG 输出。

表 6-12 ADC 控制寄存器 6 (CtrlADC6, 0x2864)

0x2864, R/W, ADC 控制寄存器 6, CtrlADC6			
位		默认值	功能说明
bit[7:6]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit5	CMPPDNB	0	开关模拟比较器 CB。 0: 关闭; 1: 开启。
Bit4	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit3	ADCMPPDN	0	开关 M 通道 ADC。 0: 关闭; 1: 开启。
Bit2	ADCUPDN	0	开关电压通道 ADC。 0: 关闭; 1: 开启。
Bit1	ADCBPDN	0	开关 IB 通道 ADC。 0: 关闭; 1: 开启。
Bit0	ADCAPDN	0	开关 IA 通道 ADC。 0: 关闭; 1: 开启。

表 6-13 M 通道控制寄存器 (CtrlM, 0x2865)

0x2865, R/W, M 通道控制寄存器, CtrlM			
位		默认值	功能说明
Bit7	RTCLDO_ENN	0	RTC LDO 关闭使能。 1: 使能在主电源有电时关闭 RTC LDO。 0: 禁止。 建议置 1 以降低功耗。
Bit[6:1]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit0	MADCHOPN	0	M 通道 ADC 去直流失调功能选择。 0: 使能; 1: 禁止。为了改善测温性能, 建议将该位置 1。

表 6-14 LDO 控制寄存器 (CtrlLDO, 0x2866)

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO			
位		默认值	功能说明
bit7	LDO33PD	0	LDO33 开关。 1: 关闭。 0: 开启。 在电池供电时将该位置 1 关闭 LDO33, 可节省 1uA 功耗。
Bit6	LDO3IT	0	LDO33 偏置电流调节。 1: 增加 100%偏置电流。
Bit5	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[4:3]	LDO3SEL<1:0>	0	LDO33 输出电压调节。 00: 不调整; 01: +0.1V; 11: -0.1V; 10: -0.2V.
Bit2	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
bit[1:0]	LDOVSEL<1:0>	0	1.8V LDO ( DVCC ) 输出电压调节。 00: 不调整; 01: +0.1V; 11: -0.1V; 10: -0.2V.

表 6-15 时钟控制寄存器 (CtrlCLK, 0x2867)

0x2867, R/W, 时钟控制寄存器, CtrlCLK			
位		默认值	功能说明
bit7	PLLPDN	0	开关 PLL 电路。开启 PLL 之前必须先开启 BandGap 电路。 0: 关闭; 1: 正常工作。
Bit6	BGPPDN	0	开关 BandGap 电路。 0: 关闭; 1: 正常工作。
Bit[5:4]	ADCLKSEL<1:0>	0	过采样 ADC 时钟频率选择, 以 204.8kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4。
Bit[3:2]	MEACKSEL<1:0>	0	电能计量时钟频率选择, 以 819.2kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4。
Bit[1:0]	MCUCLKSEL<1:0>	0	MCU 时钟频率选择, 以 819.2kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4; 11: ×8。

表 6-16 PLL 控制寄存器 (CtrlPLL, 0x2868)

0x2868, R/W, PLL 控制寄存器, CtrlPLL			
位		默认值	功能说明
bit7	MCU26M	0	当 MCU13M=1 时, 使能 MCU 时钟频率加倍 (×2)。 1: 使能。
Bit6	MCU13M	0	使能 MCU 时钟频率加倍 (×2)。 1: 使能。
Bit5	PLLSEL	0	50Hz 或 60Hz 应用选择。 0: 50Hz; 1: 60Hz。
Bit[4:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 6-17 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869)

0x2869, R/W, 内部 32768 RC 时钟控制寄存器, RCTRIM			
位		默认值	功能说明
Bit[7:4]	RCTRIM<3:0>	0	调节内部 32768HzRC 时钟频率。 0000:0%; 0001:8.8%; 0010:4.4%; 0011:14.2%; 0100:-7.5%; 1000:-4%; 1100:-10.8%; 其他: 调节范围在-10.7% ~ +8.8%以内, 不建议配置。
Bit[3:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 6-18 LDO 输出电压调节寄存器 (LDO33TRIM/DVCCTRIM, 0x286A)

0x286A, R/W, LDO 输出电压调节寄存器, LDO33TRIM/DVCCTRIM			
位		默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[5:3]	LDO33TRIM<2:0>	0	LDO33 输出电压调节。 010:+0.2116V; 011:+0.1056V; 000:不调整; 001:-0.1075; 110:-0.213V; 111:-0.3193V; 100:+0.2117V; 101: +0.2117V;
Bit[2:0]	DVCCTRIM<2:0>	0	DVCC 输出电压调节。 010:+0.1954V; 011:+0.0983V; 000:不调整; 001:-0.100V; 110: -0.199V; 111: -0.2977V; 100/101: +0.1964V.

表 6-19 模拟电路状态寄存器 ANState

0x286B, R, 模拟电路状态寄存器, ANState			
位		默认值	功能说明
bit7	OSC		指示当前的 OSC 时钟状态。 0: 表示晶体时钟正常工作, OSC 时钟来源于晶体时钟; 1: 表示晶体停振, OSC 时钟的时钟源已被切换为 RC 时钟。
Bit6	COMPB	0	模拟比较器 CB 的输出状态。只读。 1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号; 0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。
Bit5	COMP A	0	模拟比较器 CA 的输出状态。只读。 1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号;

0x286B, R, 模拟电路状态寄存器, ANState

位		默认值	功能说明
			0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。
Bit4	保留	-	-
Bit3	RTCBATSTE	0	RTC 的供电状态, 当 rtc 没有电池的时候, 此位为 1。
Bit2	AVDDSTE	0	主电源的供电状态, 当主电源低于 2.8V 时候, 此位为 1。
bit[1:0]	保留	-	-

## 第7章 复位

V99XX 的复位电路具有以下特点：

- 三个复位等级，分别对应不同复位范围；
- 除 RTC 校正寄存器、RTC 计时寄存器、IRAM 和 XRAM 内部存储的数据以及 Info 区信息外，其它所有电路均可被复位；
- 调试模式下，WDT 溢出复位被屏蔽。

### 7.1 复位相关寄存器

表 7-1 复位标志位相关寄存器

SFR 0xC6, R, 复位标志位寄存器, RSTSTS				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:3]	保留	-	-	
Bit2	WDT	R	0	1: 表示上次的复位是 WDT 溢出复位引起。 0: 表示上次的复位不是 WDT 溢出复位引起。
Bit1	RSTn	R	0	1: 表示上次的复位是外部 RSTn 管腿复位引起。 0: 表示上次的复位不是外部 RSTn 管腿复位引起。
Bit0	POR/BOR	R	0	1: 表示上次的复位是 POR/BOR 复位引起。 0: 表示上次的复位不是 POR/BOR 复位引起。

注：当发生 MODE1 输入为低电平时不会发生 WDT 复位。

WDT、RSTn、POR 三个复位不同时发生的时候，三个标志位互斥，会清掉其它复位标志位。当三个复位同时发生的时候，三个标志位同时生效。

表 7-2 系统状态寄存器

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
bit5	RST	R	0	1: 表示上次的复位是由 POR/BOR、RSTn 输入或 WDT 溢出复位引起。 0: 休眠唤醒。
Bit4	保留	-	0	
Bit3	IO	R	0	1, 表示系统在浅睡眠或者深睡眠状态下被 IO 端口输入信号变化唤醒。

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate

位		R/W	默认值	功能说明
Bit2	RTC/CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit1	PWRDN	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRDN 位为 1, 表示发生了掉电; 当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRDN 位为 0, 表示没有发生掉电。如果掉电中断使能, 掉电事件会向 MCU 提起中断。
Bit0	PWRUP	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRUP 位为 1。 当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRUP 位为 0。

注: 当发生 MODE1 输入为低电平时 PWRUP 始终保持为 1, 即使 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时也不能休眠。

表 7-3 IO 休眠唤醒控制寄存器 (IOWK, SFR 0xC9)

SFR 0xC9, R/W, IO 休眠唤醒控制寄存器, IOWK				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
Bit[5:4]	P24EDG<1:0>	R/W	0	选择 WAKEUP5 (P2.4) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。
Bit3	RAMPDNEN	R/W	0	SFR 0xC9 的 bit3 用于控制存储器在休眠的时候是否掉电。 1: 掉电; 0: 保持供电。 对于浅睡眠、深睡眠, 对于快速休眠流程、普通休眠流程均有效。当 SFR 0xC9 的 bit3 为 1 的时候, SFR 0xC9 的 bit0 无效, 即总是休眠唤醒发生复位。
Bit2	CFWKEN	R/W	0	使能 CF 脉冲输出将系统从浅睡眠状态下唤醒。 1: 使能; 0: 禁止。

SFR 0xC9, R/W, IO 休眠唤醒控制寄存器, IOWK

位		R/W	默认值	功能说明
Bit1	IOP0	R/W	0	使能端口 WAKEUP5 (P2.4)、WAKEUP4 (P0.3) 和 WAKEUP3 (P0.2) 用于 IO 休眠唤醒输入。 1: 使能; 0: 禁止。
Bit0	IORSTN	R/W	0	1: 休眠唤醒事件仅唤醒系统而不复位系统。在这种情况下, 休眠唤醒事件发生后, CPU 继续执行程序, 所有的电路均保持休眠前的状态, 仅 SysCtrl (SFR 0x80) 中的 SLEEP1 和 SLEEP0 (bit[2:1]) 及 FWC 和 FSC (bit[6:5]) 被清零。 0: 休眠唤醒事件在唤醒系统的同时复位系统。在这种情况下, 休眠唤醒事件发生后, 系统回复到 OSC 状态。 注意: 当 RAMPDNEN 位为 1 时, 该 bit 功能无效。

## 7.2 复位范围

V99XX 的复位电路可以分为三个复位等级, 复位等级 3、复位等级 2、复位等级 1, 不同的复位等级有着不同的复位范围, 如表 7-4 所示。

表 7-4 复位范围

电路	是否被复位?		
	等级 1	等级 2	等级 3
CPU	√	√	√
中断控制系统	√	√	√
定时器 (Timer)	√	√	√
UART	√	√	√
GPSI	√	√	√
FLASH 控制寄存器	√	√	X
SysCtrl, SFR 0x80	√	√	X
IOEDG, SFR 0xC7	√	√	X
IOWK, SFR 0xC9	√	√	X
WDT	√	√	X
Systate, SFR 0xA1	√	X	X
IOWKDET, SFR 0xAF	√	X	X
模拟控制寄存器	√	X	X
电能计量 VMA 所有寄存器	√	X	X

电路	是否被复位?		
	等级 1	等级 2	等级 3
LCD 驱动电路	√	X	X
GPIO	√	X	X
RTC	RTC 校正寄存器	X	X
	RTC 计时寄存器	X	X
	RTC 其它寄存器	√	X
IRAM	X	X	X
XRAM	X	X	X
Info 区信息 (0x400~0x5FF)	X	X	X

复位电路的框图如图 7-1 所示。

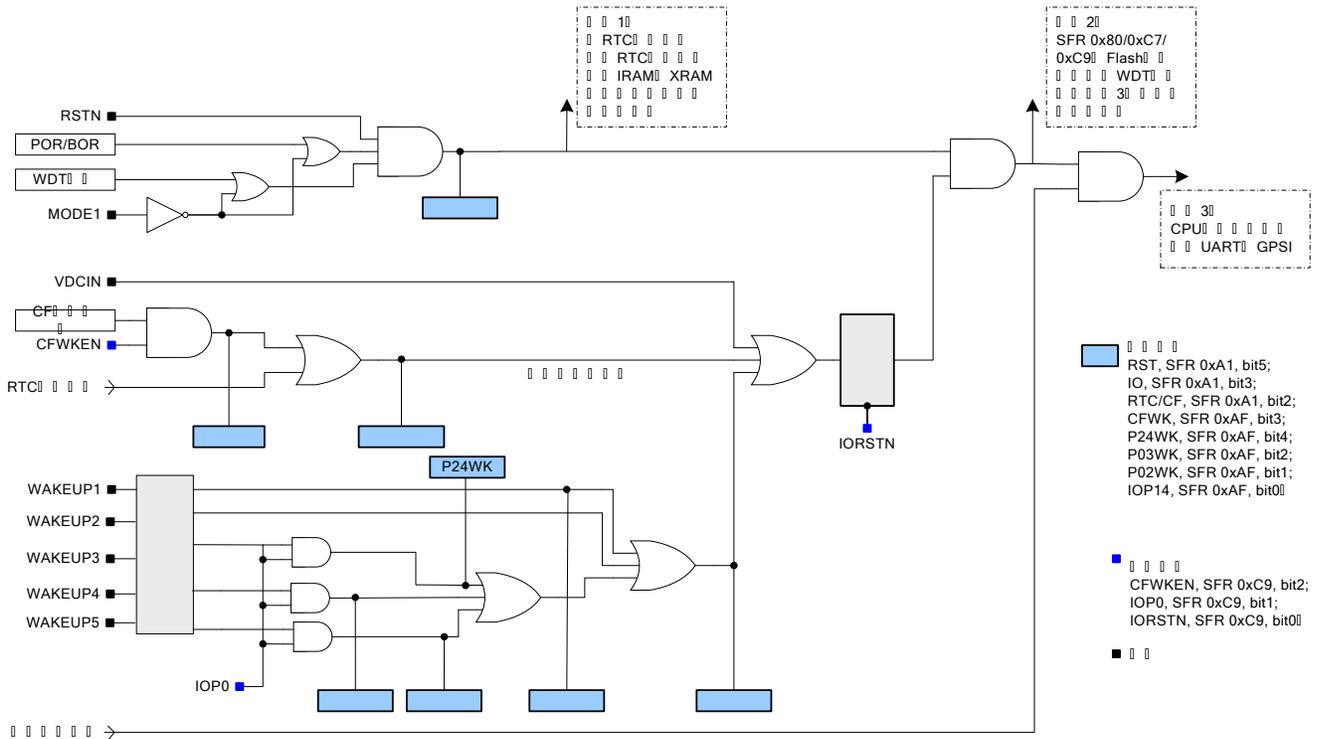


图 7-1 复位电路框图

### 7.3 复位等级 3

复位等级 3 包括调试复位。复位范围详见表 7-4。

### 7.4 复位等级 2

复位等级 2 的事件主要是一些能将系统从休眠状态下唤醒并复位的事件，包括恢复供电、IO 休眠唤醒复位、RTC 定时休眠唤醒复位和 CF 脉冲输出休眠唤醒复位。复位范围详见表 7-4。休眠唤醒详见休眠唤醒章节。

## 7.5 复位等级 1

复位等级 1 包括 WDT 溢出复位、片外输入的 RSTn 复位和模拟电路产生的 POR/BOR 复位。复位范围详见表 7-4。

### 7.5.1 片外输入 RSTn 复位

当引脚 RSTn 上输入 5ms 以上的低电平时，芯片内部产生复位信号（低电平），芯片进入复位状态。RSTn 引脚上的电平拉高后，复位信号继续保持 4 个 OSC 时钟周期（约 122 $\mu$ s）。之后，复位信号释放。

RSTn 输入使用 RC 振荡器时钟进行滤波，以防静电干扰。

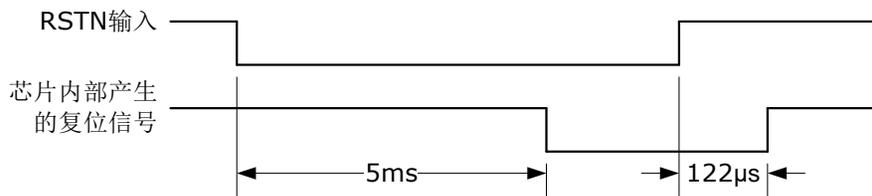


图 7-2 RSTn 输入复位时序

### 7.5.2 上电复位 (POR) / 欠压复位 (BOR)

上电复位 (POR) / 欠压复位 (BOR) 电路监测数字电源电路输出的电压 (DVCC)。

电源上电过程中，当 DVCC 引脚上的输出电压低于 1.4V 时，芯片内部产生 POR 复位信号（低电平）。当 DVCC 引脚上的输出电压高于 1.4V 后，POR 复位信号会继续保持 4 个 OSC 时钟周期（约 122 $\mu$ s），之后，复位信号释放。

在电源掉电过程中，当 DVCC 上电压低于 1.4V（典型值）时，欠压复位 (BOR) 电路会输出复位信号（低电平）。

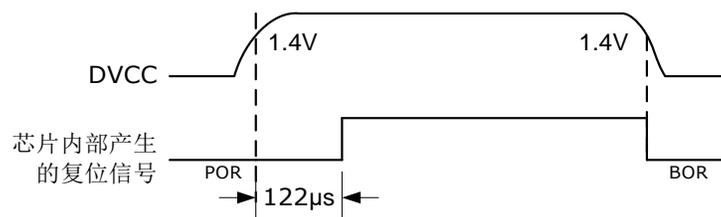


图 7-3 上电复位 (POR) / 欠压复位 (BOR) 时序

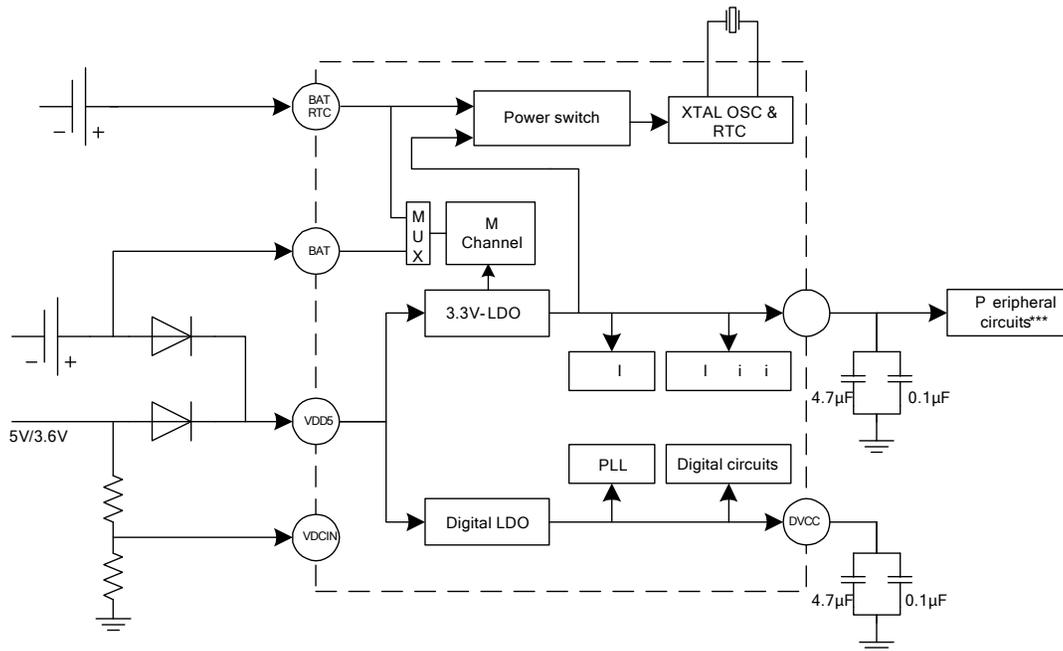
### 7.5.3 WDT 溢出复位

WDT 溢出时产生 WDT 溢出复位。WDT 的工作原理，详见“看门狗定时器 (Watchdog Timer, WDT)”。

## 第8章 电源系统

V99XX 电源供电系统有以下特点：

- 支持 5V/3.3V 外电源供电；
- 支持电池供电；
- 支持 RTC 独立电池供电。BATRTC 无电池时，由 3.3V-LDO 给 RTC 和晶体起振电路供电；
- 芯片内部模拟电路和 GPIO 口等由 3.3V-LDO 供电；
- 芯片内部数字电路和 PLL 等由数字电源电路供电；
- 支持低电压监测，实时监测电池电压。



\* Digital circuits: CPU, UART, RAM, Flash, VMA  
 \*\* Analog circuits: ADC, LCD, POR/BOR, RC  
 \*\*\* P eripheral circuits

图 8-1 电源供电系统

### 8.1 3.3V 稳压电路 (LDO33)

芯片内部模拟电路和 GPIO 口由 3.3V-LDO 供电。只要芯片保持供电，3.3V-LDO 始终工作。用户可通过 LDO3SEL (bit[4:3], CtrlLDO, 0x2866) 或 LDO33TRIM<2:0> ( bit[5:3], LDO33TRIM, 0x286A) 调整 LDO33 的输出电压。

LDO33 具有 30mA 的驱动能力,即,当模拟电路、GPIO 口以及芯片相关外围电路的负载电流小于 30mA 时, LDO33 能保持输出电压稳定,当负载电流大于 30mA, LDO33 输出电压随着负载电流的上升而下降(如图 8-3 所示)。

LDO33 在片外需连接一个由一个  $\geq 4.7\mu\text{F}$  和一个  $0.1\mu\text{F}$  的去耦电容组成的并联电路。

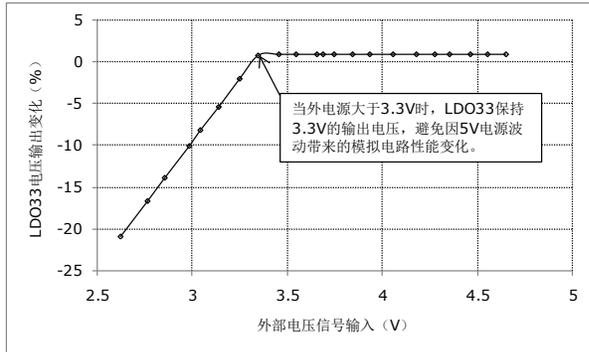


图 8-2 LDO33 电压输出与外部 5V 电压信号输入

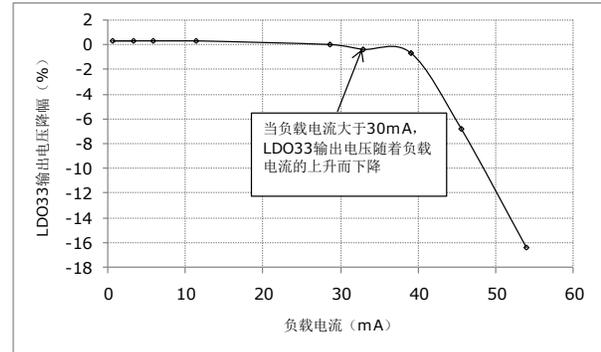


图 8-3 LDO33 电压输出与功耗

## 8.2 数字电源电路

芯片内的数字电路和 PLL 电路等均由数字电源电路供电。该电路在掉电状态下仍能正常工作,从而保证了数字电路供电稳定。

当 VDD5 电源比数字电源电路输出电压高 200mV 时,数字电源电路能保持输出电压稳定,避免因 5V 电源波动带来的数字电源波动。用户可通过 LDOVSEL (bit[1:0], CtrlLDO, 0x2866) 调整数字电源电路的输出电压。

数字电源电路具有 35mA 的驱动能力,即,当数字电路上的负载电流小于 35mA 时,数字电源电路仍能保持输出电压稳定;当负载电流大于 35mA 时,数字电源电路的输出电压会随着负载电流的增加而明显下降。

数字电源电路在片外需连接一个由一个  $\geq 4.7\mu\text{F}$  和一个  $0.1\mu\text{F}$  的去耦电容组成的并联电路。

## 8.3 掉电监测电路

V99XX 内置一个掉电监测电路,可以实时监测两路信号。

- 1, VDCIN 引脚的输入信号。一般, VDD5 电源经电阻分压后输入 VDCIN 引脚。当 VDCIN 引脚上的电平下降到低于 1V 时,掉电监测电路输出高电平,通知 MCU 系统已经开始掉电,向 MCU 提起掉电中断,同时在系统状态寄存器 (Systate, SFR 0xA1) 中 PWRDN 位 (bit1) 置位。
- 2, 监测主电源输入电压,当主电源低于 2.8V 时,监测电路将置监控状态位 (ANState.2) 置 1,中断标志位置 1 (ExInt5IFG.7),如果使能了相应中断,会提起掉电中断。

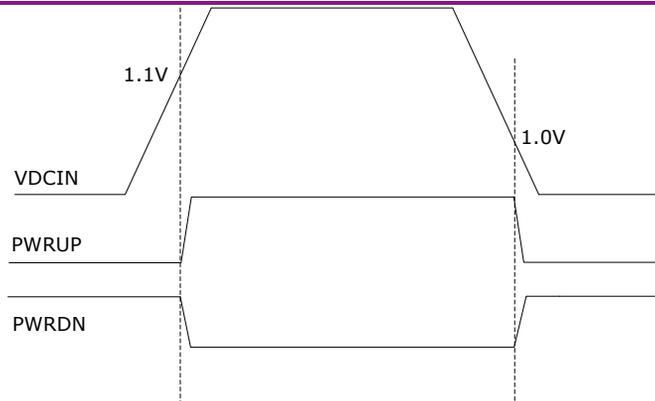


图 8-4 VDCIN 输入电平与 PWRUP 和 PWRDN 标志位的关系

## 8.4 电池供电

V99XX 系统可由电池供电,通过 BAT 电源输入。当 VDCIN 引脚上的输入电压小于 1.0V 时, PWRUP=0 (Bit0, Systate SFR) 时, 系统认为当前处于电池供电状态, 这个状态下, 可以通过程序配置进入休眠状态。实际中是否使用电池供电则取决于主电源和电池经各自二极管后的电压高低, 如图 8-1 所示。

RTC 模块可由独立电池供电。BATRTC 无电池时, 由主电源给 RTC 供电。监测电路将置监控状态位 (ANState.3) 置 1, 中断标志位置 1 (ExInt4IFG.7), 如果使能相应中断, 将向 MCU 提起 RTC 掉电中断。

在长时间不用时, 电池会进入钝化状态。所以, 用户应隔一段时间 (时间的长短由电池的特性决定) 将电池放电控制寄存器 (CtrlBAT, 0x285C) 的 BATDISC 位置 1, 使能系统供电电池放电, 以防止电池进入钝化状态。RTC 电池如果接入将一直使用, 因此不需使用放电功能以防止钝化。

电池放电电阻值为 1.5kΩ, 当电池电压是 3.6V 时, 电池上消耗的电流为 2.4mA。放电持续时间不应过长, 以防消耗过多电池电量。放电结束后, 用户应将相应的供电电池放电使能位 (BATDISC) 置 0。

## 8.5 电源系统相关寄存器

表 8-1 系统状态寄存器

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
bit5	POR	R	0	1, 表示上次的复位是由 POR/BOR、RSTn 输入或 WDT 溢出复位引起。 0, 休眠唤醒
Bit4	保留	-	0	
Bit3	IO	R	0	1, 表示系统在浅睡眠或者深睡眠状态下被 IO 端口输入信号变化唤醒。

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit2	RTC/CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit1	PWRDN	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRDN 位为 1, 表示发生了掉电; 当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRDN 位为 0, 表示没有发生掉电。如果掉电中断使能, 掉电事件会向 MCU 提起中断。
Bit0	PWRUP	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRUP 位为 1。 当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRUP 位为 0。
注: 当发生 MODE1 输入为低电平时 PWRUP 始终保持为 1, 即使 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时也不能休眠。				

表 8-2 电池放电相关寄存器

0x285C, R/W, 电池放电控制寄存器, CtrlBAT			
位		默认值	功能说明
bit[7:4]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit3	LCDBMOD	0	当 LCD 驱动电路采用 8COM 模式时, 选择 Bias 模式。 0: 1/3 Bias; 1: 1/4 Bias。 当 LCD 驱动电路采用 4COM 或 6COM 模式时, 无论该位配置为何值, 均采用 1/3Bias 模式。
Bit[2:1]	IITU<1:0>	0	电压通道 ADC 放大器偏置电流调整。 00: 0%; 01: -33%; 11: +33%; 10: +100%。
Bit0	BATDISC	0	使能系统供电电池放电。默认为 0。 1: 使能。

表 8-3 LDO 控制寄存器

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO			
位		默认值	功能说明
bit7	LDO33PD	0	LDO33 开关。

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO

位		默认值	功能说明
			<p>1: 关闭。</p> <p>0: 开启。</p> <p>在电池供电时将该位置 1 关闭 LDO33, 可节省 1uA 功耗。</p>
Bit6	LDO3IT	0	<p>LDO33 偏置电流调节。</p> <p>1: 增加 100%偏置电流。</p>
Bit5	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[4:3]	LDO3SEL<1:0>	0	<p>LDO33 输出电压调节。</p> <p>00: 不调整;</p> <p>01: +0.1V;</p> <p>11: -0.1V;</p> <p>10: -0.2V;</p>
Bit2	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
bit[1:0]	LDOVSEL<1:0>	0	<p>1.8V LDO (DVCC) 输出电压调节。</p> <p>00: 不调整;</p> <p>01: +0.1V;</p> <p>11: -0.1V;</p> <p>10: -0.2V;</p>

表 8-4 模拟电路状态寄存器

0x286B, R, 模拟电路状态寄存器, ANState

位		默认值	功能说明
bit7	OSC		<p>指示当前的 OSC 时钟状态。</p> <p>0: 表示晶体正常工作, OSC 时钟来源于晶体;</p> <p>1: 表示晶体停振或缺失, 所有使用 OSC 时钟来源于 RC 时钟。</p>
Bit6	COMPB	0	<p>模拟比较器 CB 的输出状态。只读。</p> <p>1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号;</p> <p>0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。</p>
Bit5	COMPA	0	<p>模拟比较器 CA 的输出状态。只读。</p> <p>1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号;</p> <p>0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。</p>
Bit4	保留	-	-
Bit3	RTCBATSTE	0	RTC 的供电状态, 当 rtc 没有电池的时候, 此位为 1。

0x286B, R, 模拟电路状态寄存器, ANState

位		默认值	功能说明
Bit2	AVDDSTE	0	主电源的供电状态, 当主电源低于 2.8V 时候, 此位为 1。
bit[1:0]	保留	-	-

## 第9章 时钟

### 9.1 时钟系统相关寄存器

表 9-1 时钟切换控制寄存器

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR			
位		默认值	功能说明
bit7	MEAFRQ	0	选择电能计量时钟（时钟 2）的时钟源。 0, OSC 时钟; 1, PLL 时钟。 配置这个位切换时钟 2 的时钟源; 读取该位的值以获取当前时钟 2 的时钟源信息。
Bit6	FWC	0	快速唤醒控制位。 当 FSC 配置为 0 时, FWC 的配置才生效。 当 FWC 配置为 1 有效时, PLL 电路开启, 且输出频率保持为 3.2768MHz, 时钟 1 的时钟源从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟。 当 FSC 配置为 0 时, 向 FWC 写入 1, 会硬件锁定时钟设置, 向 FWC 写 0 只会去除硬件硬件锁定但不会切换时钟。
Bit5	FSC	0	快速休眠控制位。 当 PWRUP 读出值为 0 时, 向 FSC 位写入 1, 可将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟, 关闭 PLL 电路, 并关闭时钟 1, 使系统进入浅睡眠状态。 当 PWRUP 读出值为 1 时, 向该位写入 1 无法完成上述时钟源切换和关闭。
Bit4	PMG	0	开关电能计量时钟（时钟 2）。 0, 开启; 1, 关闭。
Bit3	LCDG	0	开关 LCD 时钟（时钟 3）。 0, 开启; 1, 关闭。 当时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 PLL 时钟时, 时钟 3 才可被关闭。
Bit2	SLEEP1	0	同时开启或者关闭 MCU 时钟（时钟 1）和 WDT 时钟（时钟 4）。
Bit1	SLEEP0	0	当 PWRUP 为 0 时, 向 MCUFRQ 写入 0, 再对 SLEEP1/SLEEP0 进行配置: 11/01, 系统进入浅睡眠; 10, 系统进入深睡眠。
bit0	MCUFRQ	0	选择 MCU 时钟（时钟 1）的时钟源。 0, OSC 时钟; 1, PLL 时钟。 配置这个位可以切换时钟 1 的时钟源; 读取该位的值可以获取当前时钟 1 时钟源信息。

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR

位	默认值	功能说明
---	-----	------

当 IORSTN 位 (bit0, IOWK, SFR 0xC9) 配置为 1 时, 任何唤醒事件仅能将系统从休眠状态下唤醒而不复位系统, 此时, CPU 被唤醒后会继续执行程序, 所有的电路都保持休眠前的状态, 仅该寄存器中的休眠控制位 FWC (bit6)、FSC (bit5)、SLEEP1 (bit2) 和 SLEEP0 (bit1) 会被清零。

表 9-2 系统状态寄存器 (Systate SFR, SFR 0xA1)

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Sysstate

位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
bit5	POR	R	0	判断复位原因, 等级 1 复位标志位。 1, 表示上次的复位是由 POR/BOR、RSTn 输入或 WDT 溢出复位引起。 当其它复位发生时, 此标志位清零。
Bit4	保留	-	0	
Bit3	IO	R	0	当该位置 1 时, 表示系统在浅睡眠或者深睡眠状态下被 IO 端口输入信号变化唤醒。
Bit2	RTC /CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit1	PWR DN	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压小于 1.0V 时, PWRDN 位为 1, 表示发生了掉电; 当 VDCIN 引脚输入电压大于 1.1V 时, PWRDN 位为 0, 表示没有发生掉电。如果掉电中断使能, 掉电事件会向 MCU 提起中断。
Bit0	PWR UP	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压大于 1.1V 时, PWRUP 位为 1, 表示系统正常供电, 或者从电池供电状态切换到了正常供电状态; 当 VDCIN 引脚输入电压小于 1.0V 时, PWRUP 位为 0, 表示当前是电池供电, 或者从正常供电状态切换到了电池供电状态。

注: 当发生 POR/BOR、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时, 该寄存器被复位。

表 9-3 PLL 状态寄存器 (PLLLCK SFR, SFR 0xA3)

0xA3 SFR, R, PLL 状态寄存器, PLLLCK SFR

位		默认值	功能	说明
bit[7:1]	保留	0		
bit0	PLLLCK	0	判断 PLL 时钟状态是否锁定	1, 已锁定; 0, 未锁定

表 9-4 外设开关控制寄存器 0 (PRCtrl0, 0x2D00)

0x2D00, R/W, 外设开关控制寄存器 0, PRCtrl0

位		R/W	默认值	功能说明
Bit7	PWMCLK	R/W	0	1: 可调整脉冲宽度时钟发生器停止工作; 0: 可调整脉冲宽度时钟发生器正常工作。
Bit6	GPSI	R/W	0	1: GPSI 接口正常工作; 0: GPSI 接口停止工作。
Bit5	P10	R/W	0	1: P10 端口停止工作; 0: P10 端口正常工作。
Bit4	P9	R/W	0	1: P9 端口停止工作; 0: P9 端口正常工作。
Bit3	P0P8	R/W	0	1: P0~P8 所有端口停止工作; 0: P0~P8 所有端口正常工作。
Bit2	EUART2	R/W	0	1: EUART2 模块停止工作; 0: EUART2 模块正常工作。
Bit1	EUART1	R/W	0	1: EUART1 模块停止工作; 0: EUART1 模块正常工作。
Bit0	TimerA	R/W	0	1: TimerA 停止工作; 0: TimerA 正常工作。

表 9-5 外设开关控制寄存器 1 (PRCtrl1, 0x2D01)

0x2D01, R/W, 外设开关控制寄存器 1, PRCtrl1				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit7	UART5	R/W	0	1: UART5 停止工作; 0: UART5 正常工作。
Bit6	UART4	R/W	0	1: UART4 停止工作; 0: UART4 正常工作。
Bit5	UART3	R/W	0	1: UART3 停止工作; 0: UART3 正常工作。
Bit4	UART2	R/W	0	1: UART2 停止工作; 0: UART2 正常工作。
Bit3	ExInt5	R/W	0	1: 中断向量 11 停止工作; 0: 中断向量 11 正常工作。
Bit2	ExInt4	R/W	0	1: 中断向量 10 停止工作;

0x2D01, R/W, 外设开关控制寄存器 1, PRCtrl1

位		R/W	默认值	功能说明
				0: 中断向量 10 正常工作。
Bit1	ExInt3	R/W	0	1: 中断向量 9 停止工作; 0: 中断向量 9 正常工作。
Bit0	ExInt2	R/W	0	1: 中断向量 8 停止工作; 0: 中断向量 8 正常工作。

表 9-6 外设时钟分频寄存器 (Prescaler, 0x2D02)

0x2D02, R/W, 外设时钟分频寄存器, Prescaler

位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:0]	Prescaler	R/W	0	000 不分频; 001: 2 分频; 010: 4 分频; 011: 8 分频; 100:16 分频; 其他: 不分频。

注意: 设置为 2 分频和 4 分频无需特殊处理。在设置为 8 分频之前, 需要先将 SFR 0x8E 的 bit2 ~ bit0 设置为大于或者等于 2; 在设置为 16 分频之前, 需要先将 SFR 0x8E 的 bit2 ~ bit0 设置为大于或者等于 4。

表 9-7 晶振控制寄存器 1

0x2860, R/W, 晶振控制寄存器 1, CtrlCry1

位		默认值	功能说明
bit[7:5]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit4	CSEL	0	晶体起振电路内置 12.5pF 电容, 将该位置 1 可将电容减少 2.35pF。
bit3	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[2:0]	XTRSEL<2:0>	0	起振电路电阻调节。 XTRSEL<2>配置为 1, 使 P 端电阻增加 400kΩ。 XTRSEL<1:0>的配置: 00/01: N 端电阻保持初值; 10: N 端电阻增加 128kΩ;

0x2860, R/W, 晶振控制寄存器 1, CtrlCry1

位	默认值	功能说明
		11: N 端电阻增加 64kΩ。 使用 RTC 时, 必须配置为 0b111, 并使能晶体停振复位功能。

表 9-8 晶振控制寄存器 2

0x2861, R/W, 晶振控制寄存器 2, CtrlCry2

位	默认值	功能说明	
bit7	REFLKEN	0	将该位置 1 使能检测 BandGap 电路上是否漏电。当漏电使基准电压下降超过 3%时即提起中断。
Bit6	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit5	XRESETEN	0	起振电路停振复位使能。 1: 使能。
Bit4	CMPIT	0	模拟比较器偏置电流选择。 0: 20nA; 1: 200nA。
bit[3:2]	CMPSELB<1:0>	0	模拟比较器 CB 的输入信号源选择。 00: 引脚 M2 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 01: 引脚 M1 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 10/11: 引脚 M2 (+) 和 M1 (-) 输入电压比较。
Bit[1:0]	CMPSELA<1:0>	0	模拟比较器 CA 的输入信号源选择。 00: 引脚 CMPAP 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 01: 引脚 CMPAN 输入电压 (+) 和低功耗电压基准源 (REF_LP, -) 比较; 10/11: 引脚 CMPAP (+) 和 CMPAN (-) 输入电压比较。

表 9-9 时钟控制寄存器

0x2867, R/W, 时钟控制寄存器, CtrlCLK

位	默认值	功能说明	
bit7	PLLPDN	0	开关 PLL 电路。开启 PLL 之前必须先开启 BandGap 电路。 0: 关闭; 1: 正常工作。
Bit6	BGPPDN	0	开关 BandGap 电路。开启 PLL 之前必须先开启 BandGap 电路。

0x2867, R/W, 时钟控制寄存器, CtrlCLK			
位		默认值	功能说明
			0: 关闭; 1: 正常工作。
Bit[5:4]	ADCLKSEL<1:0>	0	过采样 ADC 时钟频率选择, 以 204.8kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4。
Bit[3:2]	MEACKSEL<1:0>	0	电能计量时钟频率选择, 以 819.2kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4。
Bit[1:0]	MCUCLKSEL<1:0>	0	MCU 时钟频率选择, 以 819.2kHz 为基准。 00: ×1; 01: ×2; 10: ×4; 11: ×8。

表 9-10 PLL 控制寄存器

0x2868, R/W, PLL 控制寄存器, CtrlPLL			
位		默认值	功能说明
bit7	MCU26M	0	当 MCU13M=1 时, 使能 MCU 时钟频率加倍 (×2)。 1: 使能。
Bit6	MCU13M	0	当 MCU 频率配置为 6.5M 时, 使能 MCU 时钟频率加倍 (×2), 得到 13M 时钟。 1, 使能。
Bit5	PLLSEL	0	50Hz 或 60Hz 应用选择。 0: 50Hz; 1: 60Hz。
Bit[4:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。

表 9-11 时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80)

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR		
位	默认值	功能说明

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR

位		默认值	功能说明
bit7	MEAFRQ	0	选择电能计量时钟（时钟 2）的时钟源。配置这个位切换时钟 2 的时钟源；读取该位的值以获取当前时钟 2 的时钟源信息。 0, OSC 时钟；1, PLL 时钟。
Bit6	FWC	0	快速唤醒控制位。 当 FSC 配置为 0 时, FWC 的配置才生效。 当 FWC 配置为 1 有效时, PLL 电路开启, 且输出频率保持为 3.2768MHz, 时钟 1 的时钟源从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟。 当 FSC 配置为 0 时, 向 FWC 写入 1, 会硬件锁定时钟设置, 向 FWC 写 0 只会去除硬件硬件锁定但不会切换时钟。
Bit5	FSC	0	快速休眠控制位。 当 PWRUP 读出值为 0 时, 向 FSC 位写入 1, 可将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟, 关闭 PLL 电路, 并关闭时钟 1, 使系统进入浅睡眠状态。 当 PWRUP 读出值为 1 时, 向该位写入 1 无法完成上述时钟源切换和关闭。
Bit4	PMG	0	开关电能计量时钟（时钟 2）。 0, 开启；1, 关闭。
Bit3	LCDG	0	开关 LCD 时钟（时钟 3）。当时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 PLL 时钟时, 时钟 3 才可被关闭。 0, 开启；1, 关闭。
Bit2	SLEEP1	0	同时开启或者关闭 MCU 时钟（时钟 1）和 WDT 时钟（时钟 4）。 当 PWRUP 为 0 时, 向 MCUFRQ 写入 0, 再对 SLEEP1/SLEEP0 进行配置:
Bit1	SLEEP0	0	11/01, 系统进入浅睡眠; 10, 系统进入深睡眠。
bit0	MCUFRQ	0	选择 MCU 时钟（时钟 1）的时钟源。配置这个位可以切换时钟 1 的时钟源；读取该位的值可以获取当前时钟 1 时钟源信息。 0, OSC 时钟；1, PLL 时钟。

表 9-12 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869)

0x2869, R/W, 内部 32768 RC 时钟控制寄存器, RCTRIM

位		默认值	功能说明
Bit[7:4]	RCTRIM<3:0>	0	调节内部 32768HzRC 时钟频率。 0000:0%; 0001:8.8%;

0x2869, R/W, 内部 32768 RC 时钟控制寄存器, RCTRIM

			<p>0010:4.4%;</p> <p>0011:14.2%;</p> <p>0100:-7.5%;</p> <p>1000:-4%;</p> <p>1100:-10.8%;</p> <p>其他:</p> <p>为保证系统正常工作, 不建议配置。</p>
Bit[3:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 不建议配置。

表 9-13 模拟电路状态寄存器 (ANState,0x286B)

0x286B, R, 模拟电路状态寄存器, ANState

位		默认值	功能说明
bit7	OSC		<p>指示当前的 OSC 时钟状态。</p> <p>0: 表示晶体时钟正常工作, OSC 时钟来源于晶体时钟;</p> <p>1: 表示晶体停振, OSC 时钟的时钟源已被切换为 RC 时钟。</p>
Bit6	COMPB	0	<p>模拟比较器 CB 的输出状态。只读。</p> <p>1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号;</p> <p>0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。</p>
Bit5	COMPA	0	<p>模拟比较器 CA 的输出状态。只读。</p> <p>1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号;</p> <p>0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。</p>
Bit4	保留	-	-
Bit3	RTCBATSTE	0	RTC 的供电状态, 当 rtc 没有电池的时候, 此位为 1。
Bit2	AVDDSTE	0	主电源的供电状态, 当主电源低于 2.8V 时候, 此位为 1。
bit[1:0]	保留	-	-

## 9.2 时钟系统特点

在 V99XX 中，时钟系统具有如下特点：

- 包括三个时钟源：
  - RC 振荡电路提供的 RC 时钟，可为 WDT 电路提供时钟，并始终监控晶体。当晶体停振时，RC 时钟将自动替代晶体，作为 OSC 时钟的时钟源；
  - OSC 时钟，可为 MCU、电能计量模块、LCD 和 RTC 提供时钟；
  - 模拟锁相环（PLL）电路提供的 PLL 时钟，可为 MCU 和电能计量模块提供时钟。
- 低功耗设计，MCU 时钟频率和电能计量时钟频率可配置，电能计量时钟可独立开启或关闭，可通过多种方式切换 MCU 时钟源。

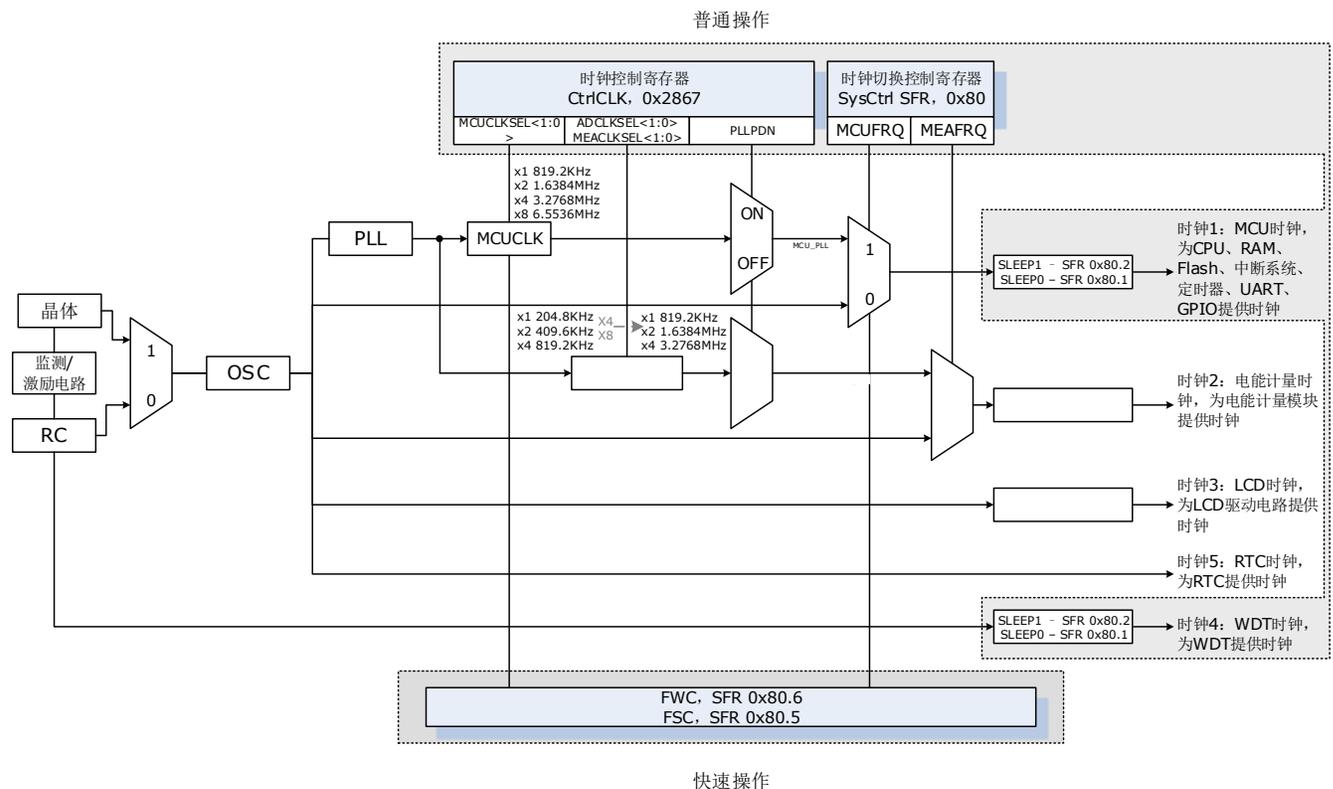


图 9-1 时钟控制电路框图

## 9.3 时钟控制电路

根据芯片的各个功能单元所使用的时钟类型，时钟控制电路的输出可以分为以下几个时钟。

- 时钟 1：MCU 时钟，为 MCU（包括 CPU/RAM/Flash/中断/定时器/UART/GPIO/GPSI）提供输入时钟，可关闭，由 OSC 或 PLL 时钟作时钟源。时钟 1 与时钟 4 同时开启与关闭。用户还可根据实际应用通过寄存器 PRCtrl0（0x2D00）和 PRCtrl1（0x2D01）关闭相应的 CPU 外设；
- 时钟 2：电能计量时钟，为电能计量模块提供输入时钟，可关闭，由 OSC 或 PLL 时钟作时钟源；
- 时钟 3：LCD 时钟，为 LCD 驱动电路提供输入时钟，可关闭，由 OSC 时钟作时钟源；
- 时钟 5：RTC 时钟，为 RTC 提供时钟；
- 时钟 4：WDT 时钟，为 WDT 提供时钟；

- 时钟 4: WDT 时钟, 为 WDT 电路提供输入时钟, 可关闭, 由 RC 时钟作时钟源。时钟 4 与时钟 1 同时开启与关闭;
- 时钟 5: RTC 时钟, 为 RTC 提供输入时钟, 不可关闭, 由 OSC 时钟作时钟源。

各个时钟的时钟源选择、开关和时钟频率调整分别由时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80) 和时钟控制寄存器 (CtrlCLK, 0x2867) 控制。

## 9.4 RC 时钟产生电路

V99XX 内部的 RC 振荡电路可以产生一个 32kHz 的 RC 时钟, 该电路一直工作, 不可关闭, 但其时钟频率可以通过 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869) 做微调。RC 时钟作为 WDT 时钟 (时钟 4) 的时钟源, 为 WDT 电路提供输入时钟。时钟 4 与时钟 1 同时开启或关闭。

表 9-14 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869)

0x2869, R/W, 内部 32768 RC 时钟控制寄存器, RCTRIM			
位		默认值	功能说明
Bit[7:4]	RCTRIM<3:0>	0	调节内部 32768HzRC 时钟频率。 0000:0%; 0001:8.8%; 0010:4.4%; 0011:14.2%; 0100:-7.5%; 1000:-4%; 1100:-10.8%; 其他: 为保证系统正常工作, 不建议配置。
Bit[3:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 不建议配置。

RC 振荡电路始终监控外部晶体。当外部晶体停振时, RC 振荡电路自动成为 OSC 时钟的时钟源, 并激励 OSC 振荡电路恢复振荡。当晶体恢复振荡以后, 使用 OSC 时钟的时钟源自动切换回到晶体。用户可通过 OSC 位 (bit7, ANState, 0x286B) 判断晶体是否停振, 以及获取 OSC 时钟的时钟源来自 RC 时钟还是晶体时钟。

## 9.5 OSC 时钟产生电路

V99XX 内置一个起振电路, 在芯片的引脚 CTI 和 CTO 上连接一个 32768Hz 的晶体, 即可形成一个晶振电路, 产生 32.768kHz 的晶体时钟。OSC 默认时钟源为晶体时钟, OSC 时钟作为时钟 1、时钟 2、时钟 3 和时钟 5 的时钟源, 分别为 MCU、电能计量模块、LCD 驱动电路和 RTC 提供输入时钟。用户可通过配置寄存器 P20FS (0x28C9) 由端口 P2.0 测得 OSC 时钟信号波形。

内置起振电路上固定的电容为 12.5pF。用户可根据需要通过配置 CSEL 位 (bit4, CtrlCry1, 0x2860) 调节起振电路上的电容, 或者在 CTI/CTO 引脚外部添加额外的电容后再连接到晶体, 从而使晶体两端的等效电容与其负载电容相匹配, 使晶体振荡频率偏差最小。用户也可通过 XTRSEL<2:0>位 (bit[2:0], CtrlCry1, 0x2860) 调节起振电路上的电阻, 对晶体振荡频率进行微调。当使用 RTC 时, XTRSEL<2:0>必须配置为 0b011。晶振电路始终工作, 是一个低功耗模块。芯片复位后, 该电路消耗电流为 0.6μA。

起振电路中有一个晶体停振检测电路。停振电路复位使能后，当晶体停振检测电路检测到晶体停振时：

- 如果晶体停振是由于超声波焊接等外界因素引起的，则复位内置的起振电路可使晶体重新起振；
- 如果晶体停振是由于空气或者 PCB 湿度过大，从而 CTI/CTO 引脚之间以及各自到地间的阻抗明显下降，则复位仍不能使晶体起振。但湿度恢复正常之后，晶体可重新起振。

RC 振荡电路监控晶体时钟电路。当外部晶体停振时，OSC 时钟的时钟源切换到 RC 时钟，并激励晶体振荡电路恢复振荡。当晶体恢复振荡以后，使用 OSC 时钟的时钟源自动切换回到晶体时钟。用户可通过 OSC 位（bit7，ANState，0x286B）判断晶体是否停振，以及使用 OSC 时钟的时钟源是否被切换。

## 9.6 PLL 时钟产生电路

在 V99XX 中，晶振电路产生的 OSC 时钟作为基准时钟输入 PLL 电路，PLL 电路将其倍频产生 PLL 时钟，作为时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 MCU、电能计量模块和 ADC 提供输入时钟 MCU\_PLL、MEA\_PLL 和 ADC\_PLL。

### 9.6.1 开启 PLL 并调整 PLL 时钟频率

用户可以按以下流程开启 PLL 电路并将 PLL 时钟设为 MCU 或电能计量时钟的时钟源：

1. 配置时钟控制寄存器（CtrlCLK，0x2867），开启 PLL 电路，并设置 MCU 或电能计量时钟频率；
2. 等待 PLL 电路设置频率并等待锁定。用户可通过查询 PLL 状态寄存器（PLLLCK SFR，SFR 0xA3）的 PLLLCK 位（bit0）判断 PLL 时钟频率是否已锁定；
3. PLL 时钟频率锁定后，将时钟切换控制寄存器（SysCtrl SFR，SFR 0x80）的 MCUFRQ 位（Bit0）或 MEAFRQ 位（Bit7）置 1，连接 PLL 时钟作为 MCU 或电能计量时钟的时钟源，此过程只需要一个 PLL 时钟周期。

当 PLL 电路开启时，用户应严格按照以下流程进行频率切换：

1. 将时钟 1 或时钟 2 的时钟源切换为 OSC 时钟；
2. 配置 MCU/电能计量时钟频率；
3. 连接 PLL 时钟作为时钟 1 或时钟 2 的时钟源。

表 9-15 MCU/ADC/电能计量时钟频率配置

寄存器	位	功能说明
CtrlCLK 0x2867	bit[5:4] ADCLKSEL<1:0>	过采样 ADC 时钟频率选择，以 204.8kHz 为基准。 00, ×1; 01, ×2; 10, ×4
	bit[3:2] MEACLKSEL<1:0>	电能计量时钟频率选择，以 819.2kHz 为基准。 00, ×1; 01, ×2; 10, ×4
	bit[1:0] MCUCLKSEL<1:0>	MCU 时钟频率选择，以 819.2kHz 为基准。 00, ×1; 01, ×2; 10, ×4; 11, ×8
CtrlPLL 0x2868	bit7 MCU26M	当 MCU13M=1 时，使能 MCU 时钟频率加倍（×2）。 1, 使能。
	Bit6 MCU13M	当 MCU 频率配置为 6.5M 时，使能 MCU 时钟频率加倍（×2），得到 13M 时钟。 1, 使能。

寄存器	位	功能说明
电能计量时钟频率应为 ADC 时钟频率的 4 倍或 8 倍，MCU 时钟独立于其它两个时钟。		

正常计量时，MCU 时钟频率应为 13107.2kHz，电能计量时钟频率为 3276.8kHz，ADC 时钟频率为 819.2kHz。

## 9.6.250Hz/60Hz 电网应用对时钟频率的影响

默认情况下，V99XX 支持 50Hz 电网应用。用户可通过 PLL 控制寄存器（CtrlPLL，0x2868）将 V99XX 配置为适应 60Hz 电网应用。

因为 RTC 和 LCD 驱动电路采用 OSC 时钟作为时钟源，WDT 采用 RC 时钟作为时钟源，所以，从 50Hz 电网切换为 60Hz 电网下应用对这些电路不会产生影响。当时钟 1 或时钟 2 的时钟源不是 PLL 时钟时（例如在 OSC 上进行常数计量时的常数功率值和 CF 脉冲宽度），电网的切换不会对相应的电路产生影响。

在 60Hz 电网下，如果时钟 1 采用 PLL 时钟作为时钟源，那么，所有使用 PLL 时钟进行计时的外设都需要把计时的门限值扩大 1.2 倍，才能得到期望的计时值，这些计时值包括但不限于程序的等待时间、波特率、定时器、RTC 的高频秒脉冲校正等。

在 60Hz 电网下，如果时钟 2 采用 PLL 时钟作为时钟源，那么，如果此时输入电压信号频率为 60Hz，则计量电路输出的功率、有效值、频率值等数据不会发生变化；各个滤波器的稳定时间和数据的更新时间会变为 1/1.2；能量累加寄存器的累加速率变快为 1.2 倍；能量脉冲的门限值必须扩大 1.2 倍；起动/潜动判断门限值必须扩大 1.2 倍；CF 的脉冲宽度会变为 50Hz 应用下的 1/1.2。

如无特殊说明，本文档中所列所有与时钟频率相关的信息均为 50Hz 电网应用下的信息。

表 9-16 电网应用选择

寄存器	位	功能说明
PLL 控制寄存器（CtrlPLL，0x2868）	bit5 PLLSEL	50Hz 或 60Hz 应用选择。 0, 50Hz；1, 60Hz

## 9.7 MCU 时钟和电能计量时钟的时钟源切换

在 V99XX 中，用户可以根据应用需要，采用不同的方式切换电能计量时钟（时钟 2）和 MCU 时钟（时钟 1）的时钟源，并关闭时钟 1 和时钟 2：

1. 普通操作方式：适用于切换时钟 1 和时钟 2 的时钟源，并关闭时钟 1 和时钟 2。这种操作方式要求程序按步骤访问各个控制寄存器，切换时钟源，并开关时钟；
2. 快速操作方式：仅适用于切换时钟 1 的时钟源，并关闭时钟 1。这种操作方式只需要访问一个寄存器就可以由硬件完成所需要的操作步骤，适用于对低功耗要求比较高的应用。采用快速操作方式关闭时钟 1 时，系统只能进入浅睡眠状态。

用户可以根据实际应用需要相互替换或结合两种操作方式进行操作。

### 9.7.1 普通操作方式切换 MCU 和电能计量时钟源

#### 9.7.1.1 MCU 时钟源切换及 MCU 时钟关闭

##### 1. 复位后的状态

发生片外输入 RSTn 复位、POR/BOR、WDT 溢出复位或者休眠唤醒复位后，模拟控制寄存器和时钟切换控制寄存器（SysCtrl SFR，SFR 0x80）被复位为默认值。此时，PLL 电路关闭（PLLPDN=0，bit7，CtrlCLK）；时钟 1 处于开启状态（SLEEP1/SLEEP0=00，bit[2:1]，SysCtrl，SFR 0x80）；时钟 1 使用 OSC 时钟作时钟源（MCUFRQ 读出值为 0，Bit0，SysCtrl）。

表 9-17 复位后时钟 1 的状态

寄存器	bit	说明	复位后的默认值
CtrlCLK, 0x2867	PLLPDN, Bit7	开关 PLL 电路。	0, 关闭
SysCtrl SFR 0x80	SLEEP1, bit2 SLEEP0, bit1	同时开启或者关闭时钟 1 和时钟 4。	00, 开启时钟 1 和时钟 4。
	MCUFRQ, bit0	选择 MCU 时钟（时钟 1）的时钟源。	0, OSC 时钟

## 2. 从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟

访问模拟控制寄存器，开启 BandGap 电路，开启 PLL 电路并设置 MCU 时钟频率，如 3.2768MHz。等待 1ms 或通过 PLLLCK 位判断 PLL 时钟频率是否已锁定。向 MCUFRQ 位（Bit0，SysCtrl）写入 1，时钟 1 的时钟源从 OSC 时钟切换到 PLL 时钟，此切换过程只需要一个 OSC 时钟周期。由于此时时钟 1 的时钟源仍为 OSC 时钟，理论上无需程序等待即可完成切换操作。

为了防止发生切换失败的情况、提高程序的可靠性，用户可以对 MCUFRQ 位进行读操作，当判断此控制位为 1，才认为 MCU 时钟源已经从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟。实现的时候可以采用以 MCUFRQ 位的值作为循环条件的 while 循环进行判断，并在 while 循环中设置循环次数计数器判断，以防止切换失败无法退出循环。由于理论上无需等待，所以可以将计数器的判断值设置的较小，比如 5。

在未开启 PLL 电路时，向 MCUFRQ 写入 1 无法将时钟 1 的时钟源切换为 PLL 时钟。

将时钟 1 的时钟源切换到 PLL 时钟后，如果 PLL 电路因为非正常原因被程序关闭，PLL 输出频率自动变为 32768Hz，但是 MCUFRQ 位读出值依然保持为 1，此时程序可以依靠 PLLLCK 位（Bit0，PLLLCK，SFR 0xA3）判断当前的 PLL 时钟状态。

## 3. 从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟

向 MCUFRQ 位（Bit 0，SysCtrl）写入 0，将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换到 OSC 时钟。

从程序向 MCUFRQ 写入 0 到时钟切换电路真正完成切换，最长需要一个 OSC 时钟周期，在这段时间内，对模拟控制寄存器的写入操作无效。所以，程序在向 MCUFRQ 写入 0 后，应该不断读出这一位的值，直到读出的值从 1 变为 0，表明时钟切换电路已经完成了切换；或者等待一段合适的时间，然后再执行后续的任务，比如关闭 PLL 电路等。

## 4. 关闭时钟

当系统状态寄存器（Systate，SFR 0xA1）的 PWRUP 位（Bit0）为 0，且时钟 1 的时钟源为 OSC 时钟，即 MCUFRQ 读出值为 0（Bit 0，SysCtrl）时，向 SLEEP0 位（Bit1，SysCtrl）或者 SLEEP1（Bit2，SysCtrl）写入 1，都可以关闭时钟 1，并使系统进入深睡眠或浅睡眠状态。关闭时钟 1 后，使用时钟 1 的电路单元（MCU，包括 CPU 及外设）停止工作。

### 9.7.1.2 电能计量时钟源切换及电能计量时钟关闭

#### 1. 复位后的状态

发生片外输入 RSTn 复位、POR/BOR、WDT 溢出复位或者休眠唤醒复位后，模拟控制寄存器和时钟切换控制寄存器（SysCtrl，SFR 0x80）被复位为默认值。此时，PLL 电路关闭（PLLPDN=0，bit7，CtrlCLK）；时钟 2 开启，并使用 OSC 时钟作时钟源（MEAFRQ 读出值为 0，Bit7，SysCtrl）。

表 9-18 复位后电能计量时钟源状态

寄存器	bit	说明	复位后的默认值
CtrlCLK, 0x2867	PLLPDN, Bit7	开关 PLL 电路	0, 关闭
SysCtrl, SFR 0x80	MEAFRQ, bit7	选择电能计量时钟（时钟 2）的时钟源。	0, OSC 时钟

## 2. 从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟

访问模拟控制寄存器，开启 BandGap 电路，开启 PLL 电路并设置电能计量时钟频率，如 3.2768MHz。等待 1ms 或通过 PLLLCK 位判断 PLL 时钟频率是否已锁定。向 MEAFRQ 位（Bit7，SysCtrl）写入 1，时钟 2 的时钟源从 OSC 时钟切换到 PLL 时钟，切换过程只需要一个 OSC 时钟周期。

一般情况下是先切换 MCU 时钟源再切换电能计量时钟源，所以，在将电能计量时钟源从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟时，一般不需要再次开启 PLL 电路，仅需要配置电能计量时钟频率，再做时钟源切换即可。

在没有开启 PLL 电路的情况下，即使向 MEAFRQ 写入 1 也无法将电能计量时钟源切换到 PLL 时钟。

将电能计量时钟源切换到 PLL 时钟之后，如果 PLL 电路因为非正常原因被程序关闭，PLL 输出频率自动变为 32768Hz，但是 MEAFRQ 读出值依然保持为 1，此时程序可以依靠 PLLLCK 位（Bit0，PLLLCK，SFR 0xA3）判断当前的 PLL 时钟状态。

## 3. 从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟

向 MEAFRQ 位（Bit7，SysCtrl）写入 0，将时钟 2 的时钟源从 PLL 时钟切换到 OSC 时钟。

从程序向 MEAFRQ 写入 0 到时钟切换电路真正完成切换动作，最长需要一个 OSC 时钟周期，在这段时间内，对模拟控制寄存器的写入操作无效。所以，程序在向 MEAFRQ 写入 0 后，应该不断读出这一位的值，直到读出的值从 1 变为 0，表明时钟切换电路已经完成了切换；或者等待一段合适的时间，然后再执行后续的任务，比如关闭 PLL 电路等。

## 4. 关闭时钟

当时钟 2 的时钟源为 PLL 时钟时，向 PMG 位（bit4，SysCtrl）写入 1，则时钟 2 被关闭。时钟 2 关闭后，电能计量模块停止工作。

## 9.7.2 快速操作方式切换 MCU 时钟源

MCU 时钟源切换的快速操作方式通过访问时钟切换控制寄存器（SysCtrl，SFR 0x80）中的 FWC 位（Bit6）和 FSC（Bit5）实现。采用快速操作方式关闭 MCU 时钟时，系统只能进入浅睡眠状态。

表 9-19 MCU 时钟源快速切换控制位

寄存器	Bit6	Bit5	说明
	FWC	FSC	
SysCtrl SFR 0x80	0	0	当 FSC 配置为 0 时，对 FWC 的配置才有效。 当 FSC 配置为 0 时，向 FWC 写入 0，系统工作状态由程序决定，并由程序决定是否开启 PLL 电路，以及是否切换时钟 1 的时钟源。 当 MCUFRQ 读出值为 1 时，先向 FSC 和 FWC 位写入 0b01，再写入 0b00，

寄存器	Bit6	Bit5	说明
	FWC	FSC	
			不能切换时钟 1 的时钟源。
	1	0	<p>当 FSC 配置为 0 时，对 FWC 的配置才有效。</p> <p>当 FSC 配置为 0 时，向 FWC 写入 1，开启 BandGap 电路，开启 PLL 电路，MCU 和电能计量时钟频率自动配置为 3.2768MHz，ADC 时钟频率自动配置为 819.2kHz，时钟 1 的时钟源自动从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟。此时，程序对寄存器 CtrlCLK (0x2867) 和 MCUFRQ 位 (bit0, SysCtrl, SFR 0x80) 的操作无效，MCU/电能计量/ADC 时钟频率保持不变。</p> <p>当 FSC 配置为 0 时，向 FWC 写入 1，会硬件锁定时钟设置，向 FWC 写 0 只会去除硬件锁定但不会切换时钟。</p>
	X	1	<p>当 PWRUP 读出值为 0 时，向 FSC 位写入 1，可将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟，关闭 PLL 电路，并关闭时钟 1，使系统进入浅睡眠状态。</p> <p>当 PWRUP 读出值为 1 时，向该位写入 1 无法完成上述时钟源切换和关闭。</p>

### 9.7.2.1 复位后的状态

发生片外输入 RSTn 复位、POR/BOR、WDT 溢出复位、恢复供电复位、IO 休眠唤醒复位或 RTC 休眠唤醒复位后，FWC/FSC 为 0b00，系统工作状态由程序决定，并由程序决定是否开启 PLL 电路，以及是否进行时钟 1 的时钟源切换。

### 9.7.2.2 从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟

当 FSC 位配置为 0 时，向 FWC 写入 1，可以触发硬件自动完成开启 BandGap 电路、PLL 电路，设置时钟 1 的频率为 3.2768MHz，时钟 2 的频率为 3.2768MHz 和 ADC 时钟频率为 819.2kHz 并保持不变，并将时钟 1 的时钟源从 OSC 时钟切换到 PLL 时钟的操作。向 FWC 写入 1 的指令执行后，时钟 1 的时钟源切换立即完成，无需程序进行等待。之后，用户应对 MCUFRQ 位 (bit0, SysCtrl, SFR 0x80) 进行读操作，如果读出值为 1，则表明上述时钟源切换已经完成；否则认为切换失败。

当 FSC 位配置为 0 时，向 FWC 写入 1，开启 PLL 电路并设置时钟 1 的频率为 3.2768MHz 后，请按下述步骤将 MCU 时钟频率配置为 13.1072MHz 或 26.2144MHz：

1. 向 FWC 写入 0，将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟，此时，PLL 电路保持开启；
2. 通过 MCUCLKSEL<1:0>位 (bit[1:0], CtrlCLK, 0x2867) 将 MCU 时钟频率配置为 6.5536MHz；
3. 将 MCU13M 位 (bit6, CtrlPLL, 0x2868) 置 1，将 MCU 时钟频率调整为 13.1072MHz；或，先将 MCU13M 位置 1，再将 MCU26M (bit7, CtrlPLL, 0x2868) 置 1，将 MCU 时钟频率调整为 26.2144MHz；
4. 向 MCUFRQ 写入 1，将 MCU 时钟源切换为 PLL 时钟。

### 9.7.2.3 从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟，并关闭时钟 1

当系统状态寄存器 (Systate, SFR 0xA1) 的 PWRUP 位 (Bit0) 读出值为 0 时，无论 FWC 被配置为何值，向 FSC 写入 1，可以触发硬件自动将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟，关闭 PLL 电路，并关闭时钟 1，系统进入浅睡眠状态。

发生片外输入 RSTn 复位、POR/BOR、WDT 溢出复位、恢复供电复位、IO 休眠唤醒复位或 RTC 休眠唤醒复位后，时钟 1 的时钟源为 OSC 时钟，系统不能进行正常计量，但能进行常数计量。这是一个过渡状态。在对低功耗

耗要求比较高的应用条件下，缩短芯片处于这一状态的时间，可以减少平均功耗。在检测到掉电之后，缩短关闭各个电路单元的时间，也可以减少平均功耗。在对 MCU 时钟进行开关以及切换时钟源操作时，由于普通操作方式需要程序按步骤访问各个控制寄存器，快速操作方式只需要访问一个寄存器位就可以由硬件完成所需要的操作步骤，所以快速操作方式可以减少上述两种情况下的操作时间，从而降低平均功耗。

### 9.7.3 普通操作方式 V.S 快速操作方式切换 MCU 时钟源

快速操作方式与普通操作方式以“或”操作的方式发生作用。

快速操作方式与普通操作方式可以结合进行，二者之间又有相互影响。使用快速操作方式与普通操作方式进行结合操作：先利用快速操作方式开启 PLL 电路并切换 MCU 时钟源，以节省功耗；当将时钟 1 的时钟源切换到 PLL 时钟后，再利用普通操作方式中的 MCUFQR 位来保持这个状态，以便不受其他因素的影响。

```
FWC = 1;           // 开启 PLL, 切换时钟到 PLL
MCUFQR = 1;       // 执行此指令时, 时钟 1 已经在使用 PLL 时钟
```

下表分别列出了采用普通操作方式、快速操作方式和结合操作方式进行 MCU 时钟源切换的对比。

表 9-20 普通操作、快速操作和结合操作进行 MCU 时钟源切换的比较

操作	普通操作方式	快速操作方式	结合操作
开启 PLL 电路，切换时钟 1 的时钟源	访问模拟控制寄存器，开启 PLL 电路 MCUFQR = 1;	FWC = 1	FWC = 1 MCUFQR=1;
切换时钟 1 的时钟源，关闭 PLL 电路，关闭时钟 1	MCUFQR = 0; while(MCUFQR == 1){}; 访问模拟控制寄存器，关闭 PLL 电路 SLEEPS = 1;	FSC = 1	MCUFQR=0; FSC = 1

下图中箭头所指的部分，表示使用快速操作方式或者结合操作方式完成从发生 IO 休眠唤醒复位开始，至时钟 1 的时钟源切换到 3.2768MHz 的 PLL 时钟结束，全过程需要约 800 ~ 900μs，整个过程包含复位时间、程序最初的长跳转指令执行时间以及向 FWC 写入 1 的指令的执行时间。

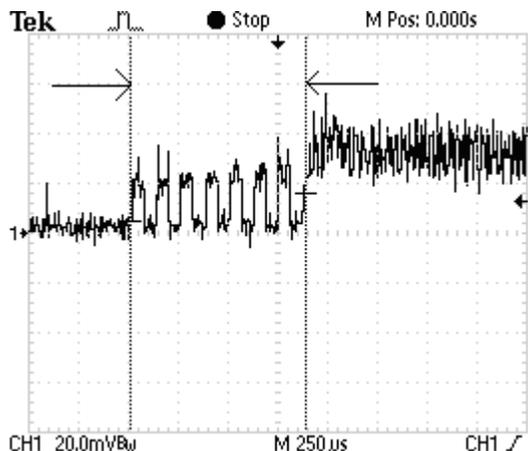


图 9-2 使用快速操作方式开启 PLL 电路并将时钟 1 的时钟源切换到 PLL 时钟

下图中箭头所指的位置，表示使用快速操作方式或者结合操作方式将时钟源从 PLL 时钟切换到 OSC 时钟，并关闭时钟的全部时间小于 30μs。

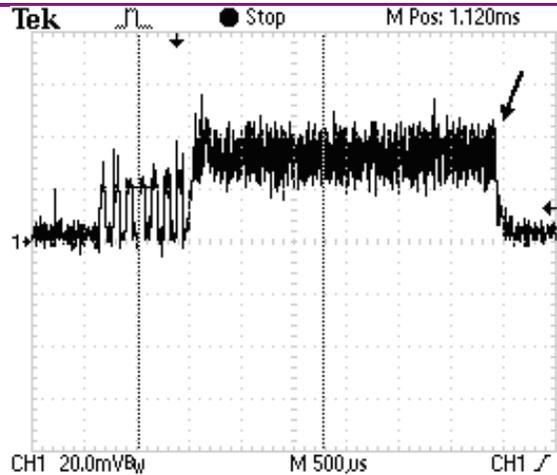


图 9-3 使用快速操作方式或结合操作方式将时钟 1 的时钟源切换到 OSC 时钟，然后关闭 PLL，关闭时钟 1

## 9.8 外设时钟分频

外设时钟分频机制，用于降低 timer A、ESAM、ESAM 输出时钟、GPIO（P0 ~ P8 所用时钟被分频，快速 GPIO 如 P9/P10 依然使用未分频时钟）、IIC、UART2/3/4/5、38KHz 红外调制等电路单元的功耗。

表 9-21 外设时钟分频寄存器（Prescaler, 0x2D02）

0x2D02, R/W, 外设时钟分频寄存器, Prescaler				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:0]	Prescaler	R/W	0	000 不分频; 001: 2 分频; 010: 4 分频; 011: 8 分频; 100:16 分频; 其他: 不分频。

注意:

设置为 2 分频和 4 分频无需特殊处理。在设置为 8 分频之前，需要先将 SFR 0x8E 的 bit2 ~ bit0 设置为大于或者等于 2；在设置为 16 分频之前，需要先将 SFR 0x8E 的 bit2 ~ bit0 设置为大于或者等于 4。

## 第10章 休眠唤醒

### 10.1 休眠状态

在系统状态寄存器（Systate, SFR 0xA1）中的 PWRUP 位（bit0）为 0 的时候，将时钟 1 的时钟源切换为 OSC 时钟，并关闭时钟 1 的时钟状态，即为休眠状态。休眠状态又分为浅睡眠和深睡眠两种状态。休眠唤醒方式有两种，休眠唤醒继续往下执行程序；休眠唤醒复位。休眠模式分两种功耗等级。

参数	典型	单位	说明
休眠	6.8	μA	数字电源输出 1.8V，晶振电路和 RTC 正常工作，系统监控电路正常工作，RAM 保持数据，电压监测电路以及复位电路正常工作。
休眠（部分 ram 掉电）	4.5	μA	数字电源输出 1.5V，晶振电路和 RTC 正常工作，系统监控电路正常工作，RAM 中仅 xram 的高 128 字节保持数据，电压监测电路以及复位电路正常工作。

一般芯片出厂后，DVCC 在 1.8V 附近。DVCC 设置到 1.5V 的步骤如下：

- 1, 先通过 LDOVSEL<1:0>(bit[1:0], LDOVSEL<1:0>, 0x2866)配置为 0x10 将 DVCC 调低 0.2V；
- 2, 再通过 0x286A 将 DVCC 调低 0.1V。

注：0x286A 里出厂后带有 LDO 调整值，每颗芯片都可能不一样，需要先将其读出，在此基础上再降低 0.1V。

在浅睡眠或者深睡眠状态下，RTC 继续工作；所有的存储器和 CPU 及其外设停止工作并进入低功耗模式，但是，LCD 驱动电路和电能计量 VMA 需要手动关闭。如果在进入浅睡眠或者深睡眠之前，程序已经关闭了 ADC 和 PLL、LCD 驱动/LCD 时序产生电路以及电能计量模块，并把 IO 设置为禁止输出/屏蔽输入，则系统处于最省电的状态。如果未关闭 LCD 驱动以及 LCD 时序产生电路，LCD 在浅睡眠或者深睡眠状态下仍可以正常显示。

当 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）清零时，在浅睡眠状态下，发生 IO/RTC 休眠唤醒事件、CF 脉冲输出或恢复供电可以使芯片回到 OSC 状态；在深睡眠状态下，发生 IO 休眠唤醒输入或恢复供电可以使芯片回到 OSC 状态。这种情况下，由于休眠失败时程序的执行方式与预期不一致，为了增强可靠性，应该在写入休眠控制位操作后面加入一个 while(1){;} 循环，若休眠失败，则等待 WDT 复位；或者在程序结构中增加对休眠失败的检测和响应。

当 IORSTN 位置 1 时，上述事件均只能将系统从休眠状态下唤醒而不会复位系统，即发生 IO/RTC 休眠唤醒事件、CF 脉冲输出或恢复供电后，CPU 继续执行程序，所有的电路均保持休眠前的状态，仅 SysCtrl（SFR 0x80）中的 SLEEP1 和 SLEEP0 位及 FWC 和 FSC 位被清零。这种情况下，如果休眠失败，程序也会继续执行，即与预期的执行方式一致，无需做额外处理。在 V99XX 中，引脚 WAKEUP1、WAKEUP2、WAKEUP3、WAKEUP4 和 WAKEUP5 均可被用于将芯片从浅睡眠或深睡眠状态中唤醒。IOP0 位（bit1, IOWK, SFR 0xC9）用于配置是否将 P0.3、P0.2 和 P2.4 用于 IO 休眠唤醒输入（P1.3 和 P1.4 用于 IO 休眠唤醒输入无需使能），寄存器 IOEDG（SFR 0xC7）和 IOWK（SFR 0xC9）用于配置有效的休眠唤醒边沿。在进入浅睡眠或深睡眠前，将上述 IO 端口设置为输入，那么任一个 IO 端口上发生的电平跳变（跳变的高低电平需要各自持续至少 4 个 OSC 时钟周期）均会将系统从休眠状态中唤醒。上述 5 个 IO 休眠唤醒输入相互独立，互不影响。IO 休眠唤醒事件会将 IO 位（bit3, Sysstate, SFR 0xA1）置标志位。当 IO 位置 1 时，用户可通过读取 P14WK 位（bit0, IOWKDET, SFR 0xAF）、P02WK 位（bit1, IOWKDET, SFR 0xAF）、P03WK 位（bit2, IOWKDET, SFR 0xAF）或 P24WK 位（bit4, IOWKDET, SFR 0xAF）的状态确认系统是因哪个端口的电平跳变而被唤醒。假如这四个标志位都为 0，那么系统就是因 P13 端口的跳变而被唤醒。

## 10.2 休眠相关寄存器

表 10-1 系统状态寄存器

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
bit5	POR	R	0	1, 表示上次的复位是由 POR/BOR、RSTn 输入或 WDT 溢出复位引起。
Bit4	保留	-	0	
Bit3	IO	R	0	1, 表示系统在浅睡眠或者深睡眠状态下被 IO 端口输入信号变化唤醒。
Bit2	RTC/CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit1	PWRDN	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRDN 位为 1, 表示发生了掉电; 当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRDN 位为 0, 表示没有发生掉电。如果掉电中断使能, 掉电事件会向 MCU 提起中断。
Bit0	PWRUP	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRUP 位为 1。 当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRUP 位为 0。

注: 当发生 MODE1 输入为低电平时 PWRUP 始终保持为 1, 即使 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时也不能休眠。

表 10-2 P0 休眠唤醒标志寄存器 (IOWKDET, SFR0xAF)

SFR 0xAF, R, P0 休眠唤醒标志寄存器, IOWKDET				
位		R/W	默认值	功能说明
bit[7:4]	保留	-	-	
Bit4	P24WK	R	0	当 IO 位 (bit3, Systate, SFR 0xA1) 置 1 时, 如果该位置 1, 表明在浅睡眠或深睡眠下系统因端口 WAKEUP5 (P2.4) 上的输入信号变化而被唤醒。
bit3	CFWK	R	0	当该位与 RTC/CF 位 (bit2, Systate, SFR 0xA1) 同时置 1 时, 表明系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit2	P03WK	R	0	当 IO 位 (bit3, Systate, SFR 0xA1) 置 1 时, 如果该位置 1, 表明在浅睡眠或深睡眠下系统因端口 WAKEUP4 (P0.3) 上的输入信号变化而被唤醒。
Bit1	P02WK	R	0	当 IO 位 (bit3, Systate, SFR 0xA1) 置 1 时, 如果该位置 1, 表明在浅睡眠或深睡眠下系统因端口 WAKEUP3 (P0.2) 上的输入信号变化而被唤醒。

SFR 0xAF, R, P0 休眠唤醒标志寄存器, IOWKDET

位		R/W	默认值	功能说明
Bit0	P14WK	R	0	当 IO 位 (bit3, Systate, SFR 0xA1) 置 1 时, 如果该位置 1, 表明在浅睡眠或深睡眠下系统因端口 WAKEUP1 (P1.4) 上的输入信号变化而被唤醒。

注意: 如果是 IO 唤醒, P14WK、P02WK、P03WK 和 P24WK 标志位都是 0, 唤醒源就是 P1.3。

表 10-3 IO 休眠唤醒边沿选择寄存器 (IOEDG, SFR0xC7)

SFR 0xC7, R/W, IO 休眠唤醒边沿选择寄存器, IOEDG				
位		R/W	默认值	功能说明
bit[7:6]	P03EDG	R/W	0	选择 WAKEUP4 (P0.3) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。
Bit[5:4]	P02EDG	R/W	0	选择 WAKEUP3 (P0.2) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。
Bit[3:2]	P14EDG	R/W	0	选择 WAKEUP1 (P1.4) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。
Bit[1:0]	P13EDG	R/W	0	选择 WAKEUP2 (P1.3) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。

表 10-4 IO 休眠唤醒控制寄存器 (IOWK, SFR 0xC9)

SFR 0xC9, R/W, IO 休眠唤醒控制寄存器, IOWK				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
Bit[5:4]	P24EDG<1:0>	R/W	0	选择 WAKEUP5 (P2.4) 的唤醒边沿。 00/11: 下降沿; 01: 上升沿; 10: 双边沿。
Bit3	RAMPDNEN	R/W	0	使能休眠唤醒复位复位 xram, 仅高 128 字节在 xram 掉电时保持数据。 1: 使能; 0: 禁止。
Bit2	CFWKEN	R/W	0	使能 CF 脉冲输出将系统从浅睡眠状态下唤醒。 1: 使能; 0: 禁止。
Bit1	IOP0	R/W	0	使能端口 WAKEUP5 (P2.4)、WAKEUP4 (P0.3) 和 WAKEUP3 (P0.2) 用于 IO 休眠唤醒输入。 1: 使能; 0: 禁止。
Bit0	IORSTN	R/W	0	1: 休眠唤醒事件仅唤醒系统而不复位系统。在这种情况下, 休眠唤醒事件发生后, CPU 继续执行程序, 所有的电路均保持休眠前的状态, 仅 SysCtrl (SFR 0x80) 中的 SLEEP1 和 SLEEP0 (bit[2:1]) 及 FWC 和 FSC (bit[6:5]) 被清零。 0: 休眠唤醒事件在唤醒系统的同时复位系统。在这种情况下, 休眠唤醒事件发生后, 系统回到 OSC 状态。

表 10-5 设置 RTC 休眠唤醒间隔 1

SFR 0x96, R/W, 系统休眠唤醒间隔寄存器, INTRTC				
位		默认值	R/W	功能说明
bit[7:3]		0	R/W	

SFR 0x96, R/W, 系统休眠唤醒间隔寄存器, INTRTC				
位		默认值	R/W	功能说明
bit[2:0]	RTC<2:0>	0	R/W	000, 1 秒; 001, 1 分; 010, 1 小时; 011, 1 天; 100, 500 毫秒; 101, 250 毫秒; 110, 125 毫秒; 111, 62.5 毫秒

表 10-6 设置 RTC 休眠唤醒间隔 2

SFR 0xDF, R/W, RTC 秒唤醒间隔寄存器, SECINT				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit7	-	R/W	0	保留
Bit6	-	R/W	0	必须先将寄存器 INTRTC (SFR 0x96) 设置为 0x07, 再将该位置 1, 才能通过该寄存器的 bit[5:0] 设置秒唤醒间隔时间。
Bit[5:0]	SEC	R/W	0	设置秒唤醒间隔时间, 其中 bit[5:0] 为 1~63 (十进制)。 当 bit[5:0] 为 0 (十进制) 时, RTC 唤醒间隔为 62.5ms。

表 10-7 LDO 控制寄存器 (CtrlLDO, 0x2866)

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO				
位		默认值	功能说明	
bit7	LDO33PD	0	LDO33 开关。 1: 关闭。 0: 开启。 在电池供电时将该位置 1 关闭 LDO33, 可节省 1uA 功耗。	
Bit6	LDO3IT	0	LDO33 偏置电流调节。 1: 增加 100% 偏置电流。	
Bit5	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。	
Bit[4:3]	LDO3SEL<1:0>	0	LDO33 输出电压调节。 00: 不调整; 01: +0.1V; 11: -0.1V;	

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO

位		默认值	功能说明
			10: -0.2V;
Bit2	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
bit[1:0]	LDOVSEL<1:0>	0	1.8V LDO 输出电压调节。 00: 不调整; 01: +0.1V; 11: -0.1V; 10: -0.2V;

表 10-8 LDO 输出电压调节寄存器 (LDO33TRIM/DVCCTRIM, 0x286A)

0x286A, R/W, LDO 输出电压调节寄存器, LDO33TRIM/DVCCTRIM

位		默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit[5:3]	LDO33TRIM<2:0>	0	LDO33 输出电压调节。 010:+0.2116V; 011:+0.1056V; 000:不调整; 001:-0.1075; 110:-0.213V; 111:-0.3193V; 100:+0.2117V; 101: +0.2117V;
Bit[2:0]	DVCCTRIM<2:0>	0	DVCC 输出电压调节。 010:+0.1954V; 011:+0.0983V; 000:不调整; 001:-0.100V; 110: -0.199V; 111: -0.2977V; 100/101: +0.1964V.

如果系统被唤醒后, RTC 位 (bit2, Systate, SFR 0xA1) 和 CFWK 位 (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 同时置 1, 表示系统因 CF 脉冲输出被唤醒; 如果 RTC 位置 1, 而 CFWK 位为 0, 则表明系统被 RTC 定时唤醒。

如果系统被唤醒后，IO 位（bit3, Systate, SFR 0xA1）为 1 表示被某个 IO 端口输入信号变化唤醒。如果系统被唤醒后，POR 位（bit5, Systate, SFR 0xA1）为 1 表示恢复供电唤醒。

发生上述任一事件均能将系统从浅睡眠状态下唤醒。

RTC 定时休眠唤醒、CF 脉冲输出休眠唤醒等事件不能唤醒深睡眠。

仅恢复供电、IO 休眠唤醒等事件能将系统从深睡眠状态唤醒。

当 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）置 1 时，上述休眠唤醒事件仅能将系统从睡眠状态中唤醒而不复位系统，即发生休眠唤醒事件后，CPU 继续执行程序，所有的电路均保持休眠前的状态，仅 SysCtrl（SFR 0x80）中的 SLEEP1 和 SLEEP0 位及 FWC 和 FSC 位被清零。

当 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）清零时，上述休眠唤醒事件除了能复位可被等级 3 复位事件复位的电路外，还能复位时钟切换控制寄存器（SysCtrl, SFR 0x80）、IO 休眠唤醒边沿选择寄存器（IOEDG, SFR 0xC7）、IO 休眠唤醒控制寄存器（IOWK, SFR 0xC9）、FLASH 控制寄存器和 WDT，详见表 7-4。

### 10.2.1 恢复供电唤醒

芯片处于休眠状态时，在 VDCIN 引脚输入电平从低于 1.0V 到高于 1.1V 的过程中，或者等级 1 的复位发生后，VDCIN 引脚电平高于 1.1V 时，芯片内部产生恢复供电信号，将芯片从休眠状态中唤醒。默认情况下，恢复供电信号在唤醒系统的同时会将系统复位至 OSC 状态。复位信号保持 8 个 OSC 时钟周期（约 244μs），如图 7-1 所示。为了降低系统功耗，用户可将 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）置 1，使恢复供电信号仅唤醒系统而不复位系统。

### 10.2.2 IO 休眠唤醒

V99XX 提供了 5 个 IO 端口用于 IO 休眠唤醒，其中 WAKEUP1（P1.4）和 WAKEUP2（P1.3）始终可被用于 IO 休眠唤醒输入；而 WAKEUP3（P0.2）、WAKEUP4（P0.3）WAKEUP5（P2.4）则只有在 IOP0 位（bit1, IOWK, SFR 0xC9）置 1 时才能被用于 IO 休眠唤醒输入。上述 5 个 IO 休眠唤醒输入相互独立，互不影响。

在系统进入深睡眠或浅睡眠状态之前，将上述 IO 端口设置为输入使能，那么，休眠状态下该端口上发生的电平跳变（跳变的高低电平需要各自持续至少 4 个 OSC 时钟周期）会将系统从休眠状态下唤醒。用户可通过寄存器 IOEDG（SFR 0xC7）或 IOWK（SFR 0xC9）配置唤醒边沿。IO 休眠唤醒事件会将 IO 位（bit3, Systate, SFR 0xA1）置位。当 IO 位置 1 时，用户可通过读取 P14WK 位（bit0, IOWKDET, SFR 0xAF）、P02WK 位（bit1, IOWKDET, SFR 0xAF）、P03WK 位（bit2, IOWKDET, SFR 0xAF），或 P24WK 位（bit4, IOWKDET, SFR 0xAF）的状态确认系统是因哪个端口的电平跳变而被唤醒，如果确实发生 IO 口唤醒，IOWKDET 中以上四个 IO 口状态位都为 0，此时就是 P1.3 唤醒。如图 7-1 所示。

默认情况下，IO 休眠唤醒输入在唤醒系统的同时会将系统复位至 OSC 状态。为了降低系统功耗，用户可将 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）置 1，使任一 IO 端口上的输入均只能唤醒系统而不复位系统。

### 10.2.3 RTC 休眠唤醒

在 V99XX 中，根据设置的休眠唤醒间隔，RTC 会定时输出休眠唤醒信号将系统从浅睡眠状态唤醒。如果 RTC/CF 位（bit2, Systate, SFR 0xA1）置 1，而 CFWK 位（bit3, IOWKDET, SFR 0xAF）清零，则表明系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒，如图 7-1 所示。

默认情况下，RTC 休眠唤醒事件在唤醒系统的同时会将系统复位到 OSC 状态，复位信号保持 8 个 OSC 时钟周期（约 244μs）。为了降低系统功耗，用户可通过将 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）置 1 使 RTC 定时产生的休眠唤醒信号只能将系统从浅睡眠下唤醒而不复位系统。

### 10.2.4 CF 脉冲输出唤醒复位

在 V99XX 中, 在系统进入浅睡眠状态前, 如果使能 CF 脉冲输出 (CFENR 或 CFEN 置 1, bit[5:4], PMCtrl4, 0x287D), 并且使能 CF 脉冲输出唤醒 (CFWKEN=1, bit2, IOWK, SFR 0xC9), 那么在浅睡眠状态下, CF 脉冲输出会将系统从休眠状态中唤醒。CF 脉冲输出唤醒会使 CFWK 位 (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 和 RTC/CF 位 (bit2, Systate, SFR 0xA1) 同时置 1, 如图 7-1 所示。

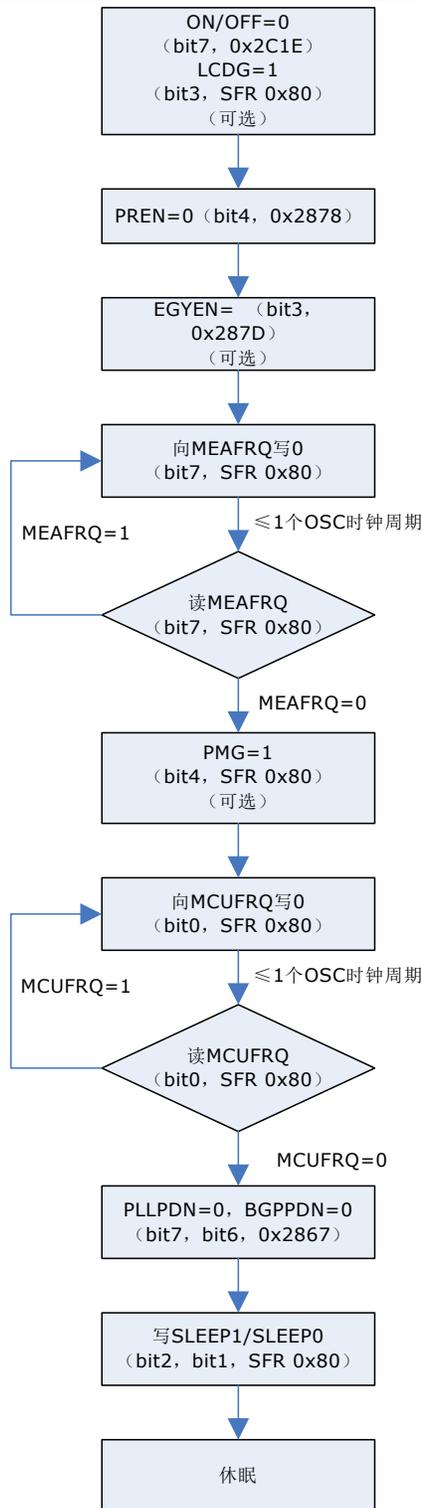
默认情况下, CF 脉冲输出在唤醒系统的同时会将系统复位到 OSC 状态。为了降低系统功耗, 用户可通过将 IORSTN 位 (bit0, IOWK, SFR 0xC9) 置 1 使 CF 脉冲输出产生的休眠唤醒信号只能将系统从浅睡眠下唤醒而不复位系统。

## 10.2.5 休眠/唤醒-使用普通操作方式

使用普通操作方式进行休眠/唤醒操作时, 系统状态的转换完全由程序控制。

如果 MCU 和计量 VMA 都休眠, 或者 MCU 休眠但计量 VMA 不休眠且工作于常数计量模式下, 用户可通过以下方式使系统进入浅睡眠或深睡眠状态 (休眠并关闭 PLL 时钟)。在进入休眠状态前 PLL 时钟开启并作为 MCU 时钟的时钟源。

在进入休眠流程前, 程序应根据功耗条件, 配置或者关闭其他相关的电路单元, 并设置唤醒源和唤醒方式。



**注意:**

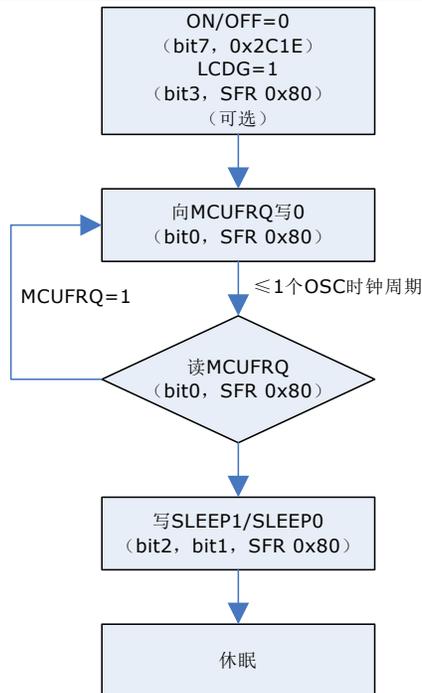
可以采用以控制位MEAFRQ的值作为循环条件的while循环进行判断,并在while循环中设置循环次数计数器判断以防止切换失败无法退出循环。由于此时MCU时钟源为PLL时钟,所以根据MCU时钟频率( $f_{MCU}$ )可以大致估计所需设置的计数判断值。当 $f_{MCU}=13.1072MHz$ 时,此时约需要等待50条汇编指令,以一个循环需要5条指令计算,此时可以设置计数判断值为10。

**注意:**

可以采用以控制位MCUFRQ的值作为循环条件的while循环进行判断,并在while循环中设置循环次数计数器判断以防止切换失败无法退出循环。由于此时MCU时钟源为PLL时钟,所以根据MCU时钟频率( $f_{MCU}$ )可以大致估计所需设置的计数判断值。当 $f_{MCU}=13.1072MHz$ 时,此时约需要等待50条汇编指令,以一个循环需要5条指令计算,此时可以设置计数判断值为10。事实上,MCU时钟源切换为OSC时钟之后,尚未退出此循环,一般情况下,上述计数判断值所确定的最长等待时间会大大超过完成切换所需的时间。

图 10-1 普通操作方式进入休眠状态 (PLL 时钟关闭)

如果 MCU 休眠但计量 VMA 不休眠,用户可通过以下方式使系统进入浅睡眠或深睡眠状态 (休眠但保持 PLL 时钟开启)。设进入休眠状态前 PLL 时钟开启并作为 MCU 时钟的时钟源。



**注意：**

可以采用以控制位MCUFRQ的值为循环条件的while循环进行判断，并在while循环中设置循环次数计数器判断以防止切换失败无法退出循环。由于此时MCU时钟源为PLL时钟，所以根据MCU时钟频率（ $f_{MCU}$ ）可以大致估计所需设置的计数判断值。当 $f_{MCU}=13.1072MHz$ 时，此时约需要等待50条汇编指令，以一个循环需要5条指令计算，此时可以设置计数判断值为10。事实上，MCU时钟源切换为OSC时钟之后，尚未退出此循环，一般情况下，上述计数判断值所确定的最长等待时间会大大超过完成切换所需的时间。

图 10-2 普通操作方式进入休眠状态（PLL 时钟保持开启）

系统进入深睡眠/浅睡眠后，根据 IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）的配置，用户可通过 RTC/IO 休眠唤醒输入、CF 脉冲输出或恢复供电将系统唤醒，使系统唤醒复位程序从地址 0 开始执行或唤醒程序继续往下执行。

注意：IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）配置为 1 时，在设置休眠语句（设置 SLEEP0/1）后需要加一段 1 个 OSC 时钟延时，等待 MCU 真正进入休眠状态。

表 10-9 系统休眠状态设置

寄存器	SLEEP1 (Bit2)	SLEEP0 (Bit1)	系统状态
时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80)	0	1	浅睡眠
	1	1	浅睡眠
	1	0	深睡眠

### 10.2.6 休眠/唤醒-使用快速操作方式

使用快速操作方式只能进入浅睡眠状态，不能进入深睡眠状态。

如果 MCU 和计量 VMA 都休眠，或者 MCU 休眠但计量 VMA 不休眠且工作于常数计量模式下，用户可通过以下方式使系统快速进入浅睡眠状态（休眠并关闭 PLL 时钟）。因为快速操作方法会关闭 PLL 电路，所以快速操作方法无法在系统进入休眠的情况下保持 PLL 时钟开启。设进入休眠状态前 PLL 时钟开启并作为 MCU 时钟的时钟源。

在进入休眠流程前，程序应根据功耗条件，配置或者关闭其他相关的电路单元，并设置唤醒源和唤醒方式。

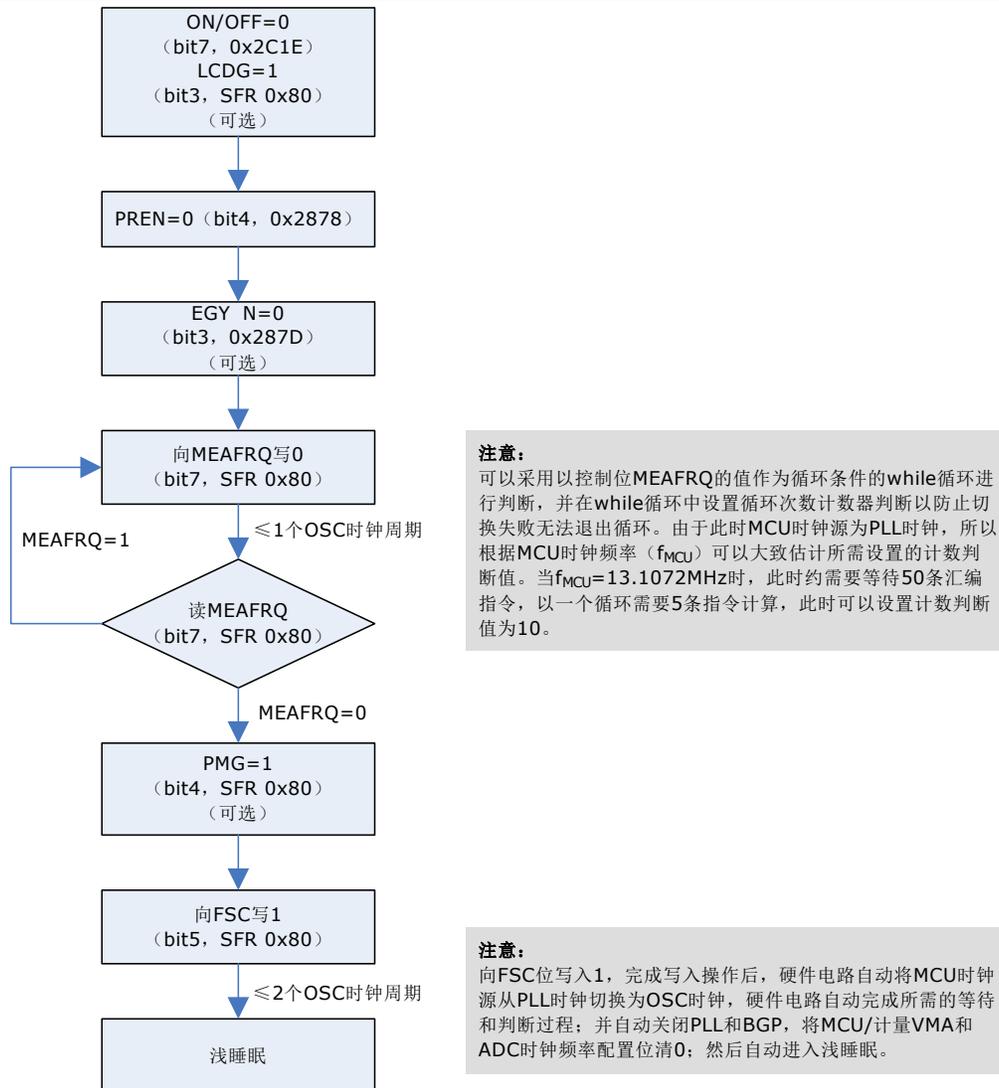


图 10-3 快速操作方式进入休眠状态

系统进入浅睡眠后，用户可采用 RTC/IO 休眠唤醒输入、CF 脉冲输出或恢复供电使其唤醒，然后，使用快速操作方式开启 PLL 电路并将其切换为时钟 1 的时钟源，从而使系统进入工作状态。

注意：IORSTN 位（bit0, IOWK, SFR 0xC9）配置为 1 时，在设置休眠语句（设置 FSC=1）后需要加一段 2 个 OSC 时钟延时，等待 MCU 真正进入休眠状态。

## 第11章 电能计量

V99XX 内置一个电能计量模块，可用于计量电压/电流有效值、有功/无功电能和视在功率等，具有如下特点：

- 4 路独立的过采样  $\Sigma/\Delta$  ADC：1 路电压（U）、2 路电流（I）和 1 路多功能测量通道（M）
- 计量精度：

在电流 5000:1 动态范围内，有功计量误差小于 0.1%

在电流 3000:1 动态范围内，无功计量误差小于 0.1%

在电流 1000:1 动态范围内，电压/电流有效值计量误差小于 0.5%

- 提供各种测量数据：

3 路电压/电流信号原始波形和直流分量

瞬时/秒平均有功/无功功率、秒平均视在功率、正反向有功/无功电能

瞬时/秒平均电压/电流有效值

线电压频率

温度，测量精度  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

电池电压/外部电压

电流或电压原始波形缓存

- 支持一路电流同时作有功与无功电能计量，或者两路电流均作有功电能计量
- 多种能量计量模式：累加功率、电流有效值、直流计量；或者降频计量
- 支持快速电流检测，降低系统功耗
- 提供 CF 脉冲输出，支持 CF 输出中断
- 支持电压过零点中断
- 支持起动/潜动判断，判断阈值可配置
- 支持软件校表：

支持角差校正，最小校正分辨率  $0.0055^{\circ}/\text{lsb}$ ，最小角差校正范围  $\pm 1.4^{\circ}$

支持有效值/功率比差校正，并支持有效值/功率二次补偿（offset 校正）

支持小电流加速校表

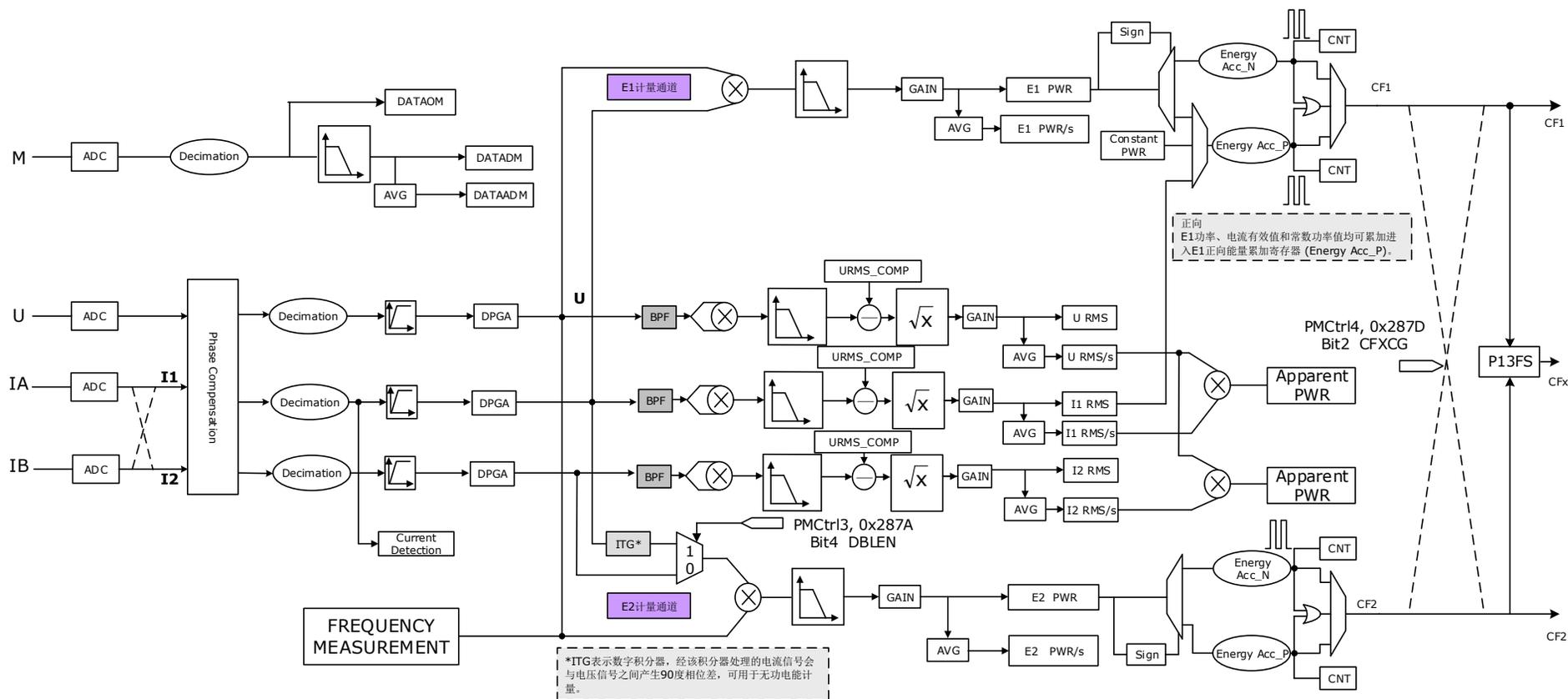


图 11-1 电能计量模块交流计量模式信号处理(带有带通滤波器)

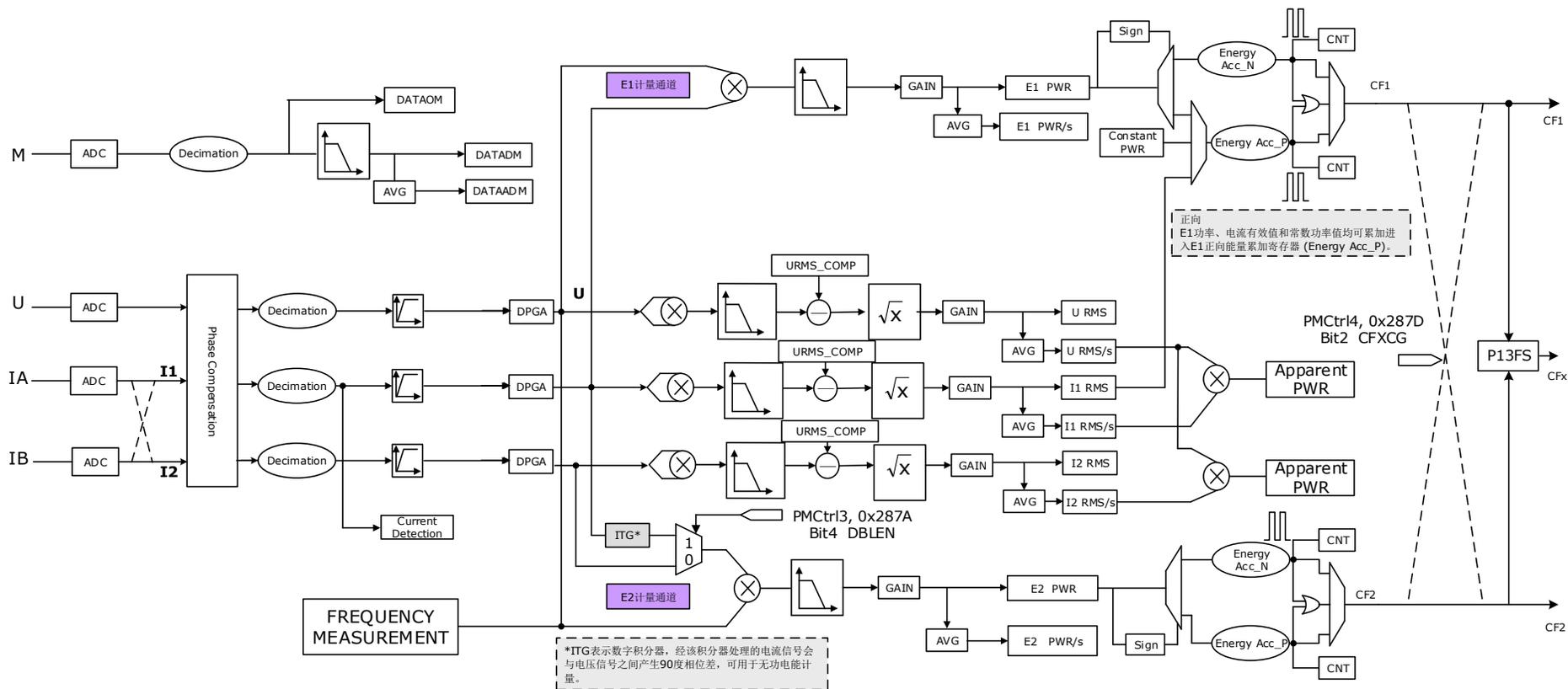


图 11-2 电能计量模块交流计量模式信号处理(无带通滤波器)

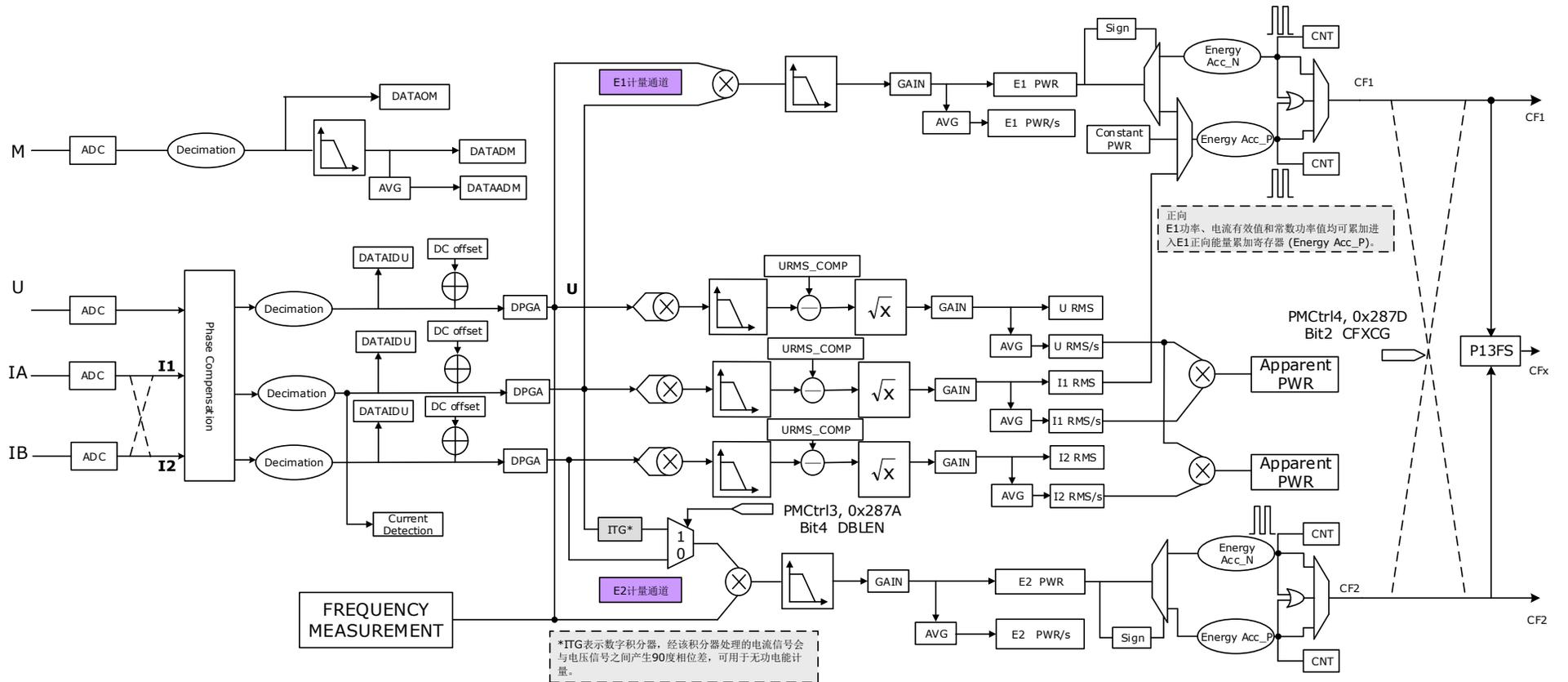


图 11-3 电能计量模块直流计量模式信号处理

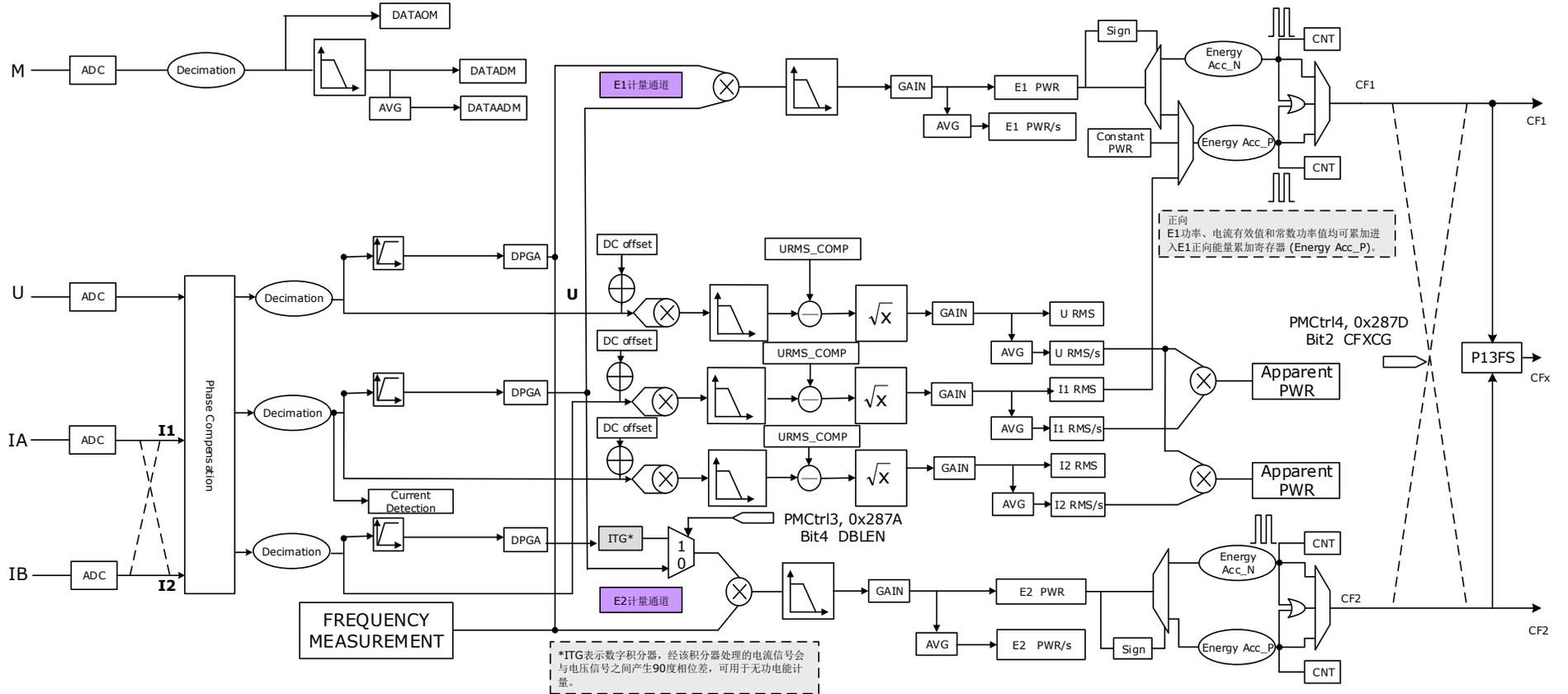


图 11-4 电能计量模块快速有效值检测模式信号处理

## 11.1 寄存器列表和使用说明寄存器列表和使用说明

### 11.1.1 访问计量控制/数据寄存器

在 V99XX 中，MCU 必须经由读写缓存寄存器通过 32-bit 的数据总线访问计量控制和计量数据寄存器。MCU 直接对读写缓存寄存器进行读/写操作。

#### 1. 读写缓存寄存器

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，读写缓存寄存器被复位。

表 11-1 读写缓存寄存器与数据的对应关系

数据	ACK	INVD	DATA[31:24]	DATA[23:16]	DATA[15:8]	DATA[7:0]
读写缓存寄存器	BUFF5	BUFF4	BUFF3	BUFF2	BUFF1	BUFF0
地址	0x2885	0x2884	0x2883	0x2882	0x2881	0x2880

#### 2. 读写操作

用户应按下述步骤对计量控制/数据寄存器进行读操作：

- A. 向寄存器 INVD 先写入 0xCC，再写入 0；
- B. 对目标地址进行有效的读操作；
- C. 最多 24 个电能计量时钟周期，或者当 ACK 标志位从 1 变为 0 后，硬件电路会把目标地址的数据 DATA 加载到读写缓存寄存器中，数据与缓存寄存器的对应关系如上表所示；
- D. 读取缓存寄存器得到所需的数据。

用户应按下述步骤对计量控制/数据寄存器进行写操作：

- A. 向寄存器 INVD 先写入 0xCC，再写入 0；
- B. 将所需的数据 DATA 写入读写缓存寄存器，数据与缓存寄存器的对应关系如上表所示；
- C. 对目标地址进行有效的写操作；
- D. 最多 24 个电能计量时钟周期，或者当 ACK 标志位从 1 变为 0 后，硬件电路会把缓存寄存器中的数据写入目标地址。

**11.1.2 计量控制寄存器**

当发生 POR/BOR、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，所有计量控制寄存器被复位。

表 11-2 PM 控制寄存器 1 (PMCtrl1, 0x2878)

0x2878, R/W, PM 控制寄存器 1, PMCtrl1			
位		默认值	功能说明
bit7	PVA	0	控制功率/有效值计算电路访问相应的计量数据寄存器。仅供测试使用。 0, 功率/有效值计算电路正常访问相应的计量数据寄存器; 1, 禁止功率/有效值计算电路访问相应的计量数据寄存器。
Bit6	PHCEN	0	使能角差校正。当角差校正使能时, IA、IB 两个通道根据各自的角差校正值同时进行角差校正。 0, 禁止角差校正; 1, 使能角差校正。
Bit5	SELI	0	选择电流通路。 0, IA 通道的信号进入 I1 通道, IB 通道的信号进入 I2 通道; 1, IA 通道的信号进入 I2 通道, IB 通道的信号进入 I1 通道
bit4	PREN	0	控制有功/无功功率、有效值和视在功率计算以及 M 通道数字信号处理。 0, 停止; 1, 使能。
Bit3	ONM	0	M 通道数字信号输入使能。 0, 屏蔽 M 通道的数字信号输入, 使得 M 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 M 通道数字信号输入
Bit2	ONI2	0	I2 通道数字信号输入使能。 0, 屏蔽 I2 通道的数字信号输入, 使得 I2 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 I2 通道数字信号输入
Bit1	ONI1	0	I1 通道数字信号输入使能。 0, 屏蔽 I1 通道的数字信号输入, 使得 I1 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 I1 通道数字信号输入
Bit0	ONU	0	电压通道 (U) 数字信号输入使能。 0, 屏蔽 U 通道的数字信号输入, 使得 U 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 U 通道数字信号输入

表 11-3 PM 控制寄存器 2 (PMCtrl2, 0x2879)

0x2879, R/W, PM 控制寄存器 2, PMCtrl2			
位		默认值	功能说明
bit7	PGACS	0	I1 通道数字增益符号位。 0, 正号; 1, 负号。
Bit[6:4]	PGAC2~PGAC0	0	I1 通道数字增益控制。取值范围为 0 ~ 5。 增益计算方法为 $\text{Gain} = 2^{\text{PGACx}}$ 。
Bit3	PGAUS	0	U 通道数字增益符号位。 0, 正号; 1, 负号。
Bit[2:0]	PGAU2~PGAU0	0	U 通道数字增益控制。取值范围为 0 ~ 5。 增益计算方法为 $\text{Gain} = 2^{\text{PGAUx}-1}$ 。

表 11-4 PM 控制寄存器 3 (PMCtrl3, 0x287A)

0x287A, R/W, PM 控制寄存器 3, PMCtrl3			
位		默认值	功能说明
bit7	X0EN	0	使能发送过零点中断。 0, 禁止发送过零点中断; 1, 使能发送过零点中断。
Bit6	BPFEN	0	当 LPFEN=0 时, 模式选择 0: 直流计量模式 1: 快速检测电流有效值, 即漏电保护模式 当 LPFEN=1 时, 使能电压/电流有效值计算电路上的带通滤波器。 0: 禁止 1: 使能
Bit5	LPFEN	0	模式选择 0: 直流计量模式或快速检测电流有效值模式。具体由 BPFEN 决定。 1: 正常计量。
Bit4	DBLEN	0	选择 E1 和 E2 计量通道的功能。 0, E1 计量通道根据 I1 电流进行有功功率计算, E2 计量通道根据 I1 电流进行无功功率计算; 1, E1 计量通道根据 I1 电流进行有功功率计算, E2 计量通道根据 I2 电流进行有功功率计算。
Bit3	PGANS	0	I2 通道数字增益符号位。 0, 正号; 1, 负号。
Bit[2:0]	PGAN2~PGAN0	0	I2 通道数字增益控制。取值范围为 0 ~ 5。 增益计算方法为 $Gain = 2^{PGANx}$ 。

表 11-5 角差校正控制寄存器 1 (PHCCtrl1, 0x287B)

0x287B, R/W, 角差校正控制寄存器 1, PHCCtrl1			
位		默认值	功能说明
bit7	PHCA7	0	I1 通道角差校正值符号位。 1, 延时电压; 0, 延时电流。
Bit6	PHCA6	0	未使用。
Bit[5:0]	PHCA<5:0>	0	作为高 6 位与 IAPHC (bit[1:0], CRPST, 0x287F) 一起结合使用, 设置 I1 通道角差校正值的绝对值 (8-bit)。 当角差校正电路的采样频率 ( $f_{smp1}$ ) 为 3.2768MHz 时, 角差分辨率为 0.0055°/lsb, 总校正量为 ±1.4°。

表 11-6 角差校正控制寄存器 2 (PHCCtrl2, 0x287C)

0x287C, R/W, 角差校正控制寄存器 2, PHCCtrl2			
位		默认值	功能说明
bit7	PHCB7	0	I2 通道角差校正值符号位。 1, 延时电压; 0, 延时电流。
Bit6	PHCB6	0	未使用。
Bit[5:0]	PHCB<5:0>	0	作为高 6 位与 IBPHC (bit[3:2], CRPST, 0x287F) 一起结合使用, 设置 I2 通道角差校正值的绝对值 (8-bit)。 当角差校正电路的采样频率 ( $f_{smpI}$ ) 为 3.2768MHz 时, 角差分辨率为 0.0055°/lsb, 总校正量为 ±1.4°。

表 11-7 PM 控制寄存器 4 (PMCtrl4, 0x287D)

0x287D, R/W, PM 控制寄存器 4, PMCtrl4			
位		默认值	功能说明
bit7	CRPENR	0	E2 计量通道起动/潜动判断使能。 0, 禁止; 1, 使能。
Bit6	CRPEN	0	E1 计量通道起动/潜动判断使能。 0, 禁止; 1, 使能。
Bit5	CFENR	0	E2 能量 CF 脉冲输出使能。 0, 禁止; 1, 使能。
Bit4	CFEN	0	E1 能量 CF 脉冲输出使能。 0, 禁止; 1, 使能。
Bit3	EGYEN	0	能量累加和能量脉冲计数使能。 0, 禁止; 1, 使能。
Bit2	CFXCG	0	CF 脉冲输出引脚选择。 0, E1 能量 CF 脉冲从引脚 CF1 输出, E2 能量 CF 脉冲从引脚 CF2 输出; 1, E2 能量 CF 脉冲从引脚 CF1 输出, E1 能量 CF 脉冲从引脚 CF2 输出。
Bit[1:0]	PSEL1/PSELO	0	正向 E1 能量累加寄存器功率源选择。 00 或 11, E1 功率; 01, I1 通道电流有效值; 10, 常数功率。

表 11-8 脉冲输出控制寄存器 (CFCtrl, 0x287E)

0x287E, R/W, 脉冲输出控制寄存器, CFCtrl			
位		默认值	功能说明
bit[7:6]	CFQR1/CFQR0	0	E2 能量脉冲产生速率控制, 可用于小信号加速校表。 00, 1 倍; 01, 4 倍; 10, 8 倍; 11, 16 倍。
Bit[5:4]	CFQ1/CFQ0	0	E1 能量脉冲产生速率控制, 可用于小信号加速校表。 00, 1 倍; 01, 4 倍; 10, 8 倍; 11, 16 倍。
Bit[3:2]	CFSELR1/CFSELR0	0	E2 能量脉冲源选择。 01, 正向 E2 能量; 10, 反向 E2 能量; 00/11, 正向以及反向 E2 能量的绝对值之和。
Bit[1:0]	CFSEL1/CFSEL0	0	E1 能量脉冲源选择。 01, 正向 E1 能量; 10, 反向 E1 能量; 00/11, 正向以及反向 E1 能量的绝对值之和。

表 11-9 防潜标志寄存器 (CRPST, 0x287F)

0x287F, 防潜标志寄存器, CRPST				
位		R/W	默认值	功能
Bit7	CRPST	R	0	E1 计量通道起动/潜动状态指示。 0, E1 计量通道处于正常计量状态; 1, E1 计量通道处于潜动状态。
Bit6	CRPSTR	R	0	E2 计量通道起动/潜动状态指示。 0, E2 计量通道处于正常计量状态; 1, E2 计量通道处于潜动状态。
Bit[5:4]	CFWD	R/W	0	CF 脉冲宽度调节。 00: 80ms; 01: 40ms; 10: 20ms; 11: 10ms。
Bit[3:2]	IBPHC	R/W	0	作为低 2 位与 PHCB<5:0> (bit[5:0], PHCCtrl2, 0x287C) 一起结合使用, 设置 I2 通道角差校正值的绝对值。 当角差校正电路的采样频率为 3.2768MHz 时, 角差分辨率为 0.0055°/lsb, 总校正量为±1.4°。
Bit[1:0]	IAPHC	R/W		作为低 2 位与 PHCA<5:0> (bit[5:0], PHCCtrl1, 0x287B) 一起结合使用, 设置 I1 通道角差校正值的绝对值。 当角差校正电路的采样频率为 3.2768MHz 时, 角差分辨率为 0.0055°/lsb, 总校正量为±1.4°。

表 11-10 电流检测寄存器 (IDET, 0x2886)

0x2886, W/R, 电流检测寄存器, IDET				
位		R/W	默认值	功能
Bit7	GT	R/W	0	<p>门控采样电路和功率/有效值计算电路。</p> <p>0: 采样电路和功率/有效值计算电路正常工作;</p> <p>1: 采样电路和功率/有效值计算电路停止工作。此时, 能量累加电路仍然正常工作, 所以, 在常数计量模式下, 用户可将该位置 1, 并将 EGYEN 置 1, 使采样电路和功率/有效值计算电路停止工作, 仅使能量累加电路正常工作, 从而进一步降低系统功耗。但是需要注意, 在关闭上述电路之前, 必须先配置能量脉冲门限值。</p>
Bit6	CST	R	0	<p>检测到电流后, 该位置 1, 直到 CLR(bit5)置 1 或 DETON(bit4)为 0 时才会被清零。</p>
Bit5	CLR	R/W	0	<p>完成一次电流检测后, 先将该位置 1, 再清零, 使 CST 位清零。</p>
Bit4	DETON	R/W	0	<p>1: 使能电流检测;</p> <p>0: 禁止电流检测。</p>
Bit[3:0]	IDLEN	R/W	0	<p>设置电流检测宽度。如果连续 ([IDLEN]+1) 个瞬时 I1 电流信号交流分量的采样点大于电流检测门限值 (IDETTH, 0x2002), 即判定为检测到了电流。其中, [IDLEN]取值范围为 0~15, [IDLEN]不同取值对应的时间详见“快速电流检测”。</p>

### 11.1.3 计量数据寄存器

当发生 POR/BOR、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，所有计量数据寄存器被复位为默认值。所有计量数据寄存器均“可读可写 (R/W)”。但是用户不应对这些计量数据寄存器进行写操作，以免引起不可预测的后果。

以下表格中，所有计量数据寄存器的“默认值”均为十六进制数；表中所列更新时间与收敛时间均为 50Hz 电网下当电能计量时钟频率 ( $f_{MTCLK}$ ) 为 3.2768MHz 时的数据，当  $f_{MTCLK}$  降至时，这些寄存器的更新时间与收敛时间应为 3.2768MHz 时的时间与相应分频系数 K 的乘积。50Hz 电网应用下的寄存器更新与收敛时间是 60Hz 电网应用下的 1.2 倍。

#### 11.1.3.1 信号波形数据寄存器

表 11-11 信号波形数据寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	默认值	数据格式	更新时间	收敛时间
0x2005	DATAOIU	读取电压原始值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	10ms
0x200A	DATAOII1	读取 I1 电流原始值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	10ms
0x200F	DATAOII2	读取 I2 电流原始值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	10ms
0x203A	DATAIDU	读取电压直流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	20ms	70ms
0x2041	DATAIDI1	读取 I1 电流直流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	20ms	70ms
0x2048	DATAIDI2	读取 I2 电流直流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	20ms	70ms
0x2051	DATAIAU	读取电压交流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	70ms
0x2052	DATAIAI1	读取 I1 电流交流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	70ms
0x2053	DATAIAI2	读取 I2 电流交流值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	70ms

11.1.3.2 功率/有效值数据寄存器

表 11-12 功率/有效值数据寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	默认值	数据格式	更新时间	收敛时间
0x20D1	DATAIP	读取 E1 功率瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	80ms	250ms
0x20D2	DATAIQ	读取 E2 功率瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	80ms	250ms
0x20D3	RMSIU	读取电压有效值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	100ms 或 30ms
0x20D4	RMSII1	读取 I1 电流有效值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	100ms 或 30ms
0x20D5	RMSII2	读取 I2 电流有效值瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	100ms 或 30ms
0x20D6	DATAP	读取 E1 功率秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20D7	DATAQ	读取 E2 功率秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20D8	RMSU	读取电压有效值秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20D9	RMSI1	读取 I1 电流有效值秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20DA	RMSI2	读取 I2 电流有效值秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20DB	DATAAP1	读取 E1 视在功率秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x20DC	DATAAP2	读取 E2 视在功率秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s
0x2003	NOISEU2_L	读取 U 通道噪声平方值低 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms
0x2004	NOISEU2_H	读取 U 通道噪声平方值高 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms
0x2006	NOISEIA_L	读取 IA 通道噪声平方值低 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms

地址	寄存器		R/W	默认值	数据格式	更新时间	收敛时间
0x2007	NOISEIA_H	读取 IA 通道噪声平方值高 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms
0x2008	NOISEIB_L	读取 IB 通道噪声平方值低 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms
0x2009	NOISEIB_H	读取 IB 通道噪声平方值高 32 位	R/W	0	32-bit 二进制补码	10ms	30ms

有效值瞬时值的收敛时间有两种，30ms 和 100ms。如果不旁路去直滤波器，正常的有效值瞬时值的收敛时间为 100ms；反之如果三个有效值计算通路旁路去直流滤波器，会缩短有效值瞬时值的收敛时间到 30ms。可以用旁路去直功能得到快速的有效值进行信号监测，如电流监测。

无论 DBLEN 为何值，标记 E1 的寄存器均用于存储根据 I1 电流计算得到的有功数据。

DBLEN=0 时，标记 E2 的寄存器用于存储根据 I1 电流计算得到的无功数据，此时 E2 计量通道上的积分器会引入额外的 1.568 倍增益，该增益可以通过比差校正消除；DBLEN=1 时，标记 E2 的寄存器用于存储根据 I2 电流计算得到的有功数据。

### 11.1.3.3 能量累加寄存器/能量脉冲计数器

表 11-13 能量累加寄存器/能量脉冲计数器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	默认值	数据格式
0x20F0	PPCNT	正向 E1 能量累加寄存器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F1	NPCNT	反向 E1 能量累加寄存器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F2	PPFCNT	正向 E1 能量脉冲计数器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F3	NPFCNT	反向 E1 能量脉冲计数器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F6	PQCNT	正向 E2 能量累加寄存器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F7	NQCNT	反向 E2 能量累加寄存器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F8	PQFCNT	正向 E2 能量脉冲计数器	R/W	0	32-bit 无符号数
0x20F9	NQFCNT	反向 E2 能量脉冲计数器	R/W	0	32-bit 无符号数

所有的能量累加寄存器的实际位宽为 42 位，可读可写。读操作时，读出的为高 32 位的数据；写操作时，访问的是高 32 位，同时低 10 位会被写入 0，然后再参与能量累加寄存器运算。当电能计量时钟频率 ( $f_{MTCLK}$ ) 为 3.2768MHz、1.6384MHz 或 819.2kHz 时，能量累加寄存器每秒钟累加 12800 次；当  $f_{MTCLK}$  为 32768Hz 时，能量累加寄存器每秒钟累加 2979 次。

当能量累加寄存器的值超过相对应的能量脉冲门限值时，产生一个能量脉冲，同时在对应的能量脉冲计数器中加 1，并从能量累加寄存器累积数据中减去一个能量脉冲门限值。当 CF 脉冲输出使能时，能量脉冲计数器每累加 2 次输出一个 CF 脉冲。

无论 DBLEN 为何值，标记 E1 的寄存器均用于存储 E1 计量通道的有功数据。

DBLEN=0 时，标记 E2 的寄存器用于存储 E2 计量通道的无功数据；DBLEN=1 时，标记 E2 的寄存器用于存储 E2 计量通道的有功数据。

### 11.1.3.4 频率值寄存器

该寄存器的值为 16-bit 无符号数，只读。

在 50Hz 电网下，当电能计量时钟频率 ( $f_{MTCLK}$ ) 为 3.2768MHz 时，频率值寄存器的数据更新时间是 320ms，收敛时间是 500ms。在 60Hz 电网下，上述时间应各除以 1.2。频率测量的分辨率可达到 0.05Hz/lsb，频率的测量范围是 35Hz ~ 75Hz。

表 11-14 频率值寄存器 (DATAFREQ, 0x20FD)

0x20FD, R, 频率值寄存器, DATAFREQ							
	值	bit15	bit14	……	……	bit1	bit0
默认值	0x0000	0	0	0	0	0	0

### 11.1.3.5 M 通道数据寄存器

表 11-15 M 通道数据寄存器

地址	寄存器		R/W	默认值	数据格式	更新时间	收敛时间
0x20CE	DATAOM	读取 M 通道原始信号波形	R/W	0	32-bit 二进制补码	0.3ms	10ms
0x20CF	DATADM	读取 M 通道直流信号瞬时值	R/W	0	32-bit 二进制补码	20ms	70ms
0x20D0	DATAADM	读取 M 通道直流信号秒平均值	R/W	0	32-bit 二进制补码	1.28s	3s

## 11.1.4 校表参数寄存器

### 11.1.4.1 功率/有效值比差寄存器

比差校正范围 (-50%~+49.9%)。

无论 DBLEN 为何值, 标记 E1 的寄存器均用于根据 I1 电流量得到的有功功率的比差校正。当 DBLEN=0 时, 标记 E2 的寄存器用于根据 I1 电流量得到的无功功率的比差校正; 当 DBLEN=1 时, 标记 E2 的寄存器用于根据 I2 电流量得到的有功功率的比差校正。

表 11-16 功率/有效值比差寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值
0x20E8	SCP	设置 E1 功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x20E9	SCQ	设置 E2 功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x20EA	SCU	设置电压有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x20EB	SCI1	设置 I1 电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x20EC	SCI2	设置 I2 电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0

### 11.1.4.2 功率二次补偿值寄存器

E1 及 E2 功率二次补偿寄存器被用于调整因串扰带来的计量误差。功率二次补偿的校表误差范围为 -50%~+50%。

无论 DBLEN 为何值, 标记 E1 的寄存器用于根据 I1 电流计算得到的有功功率的二次补偿。当 DBLEN=0 时, 标记 E2 的寄存器用于根据 I1 电流计算得到的无功功率的二次补偿; 当 DBLEN=1 时, 标记 E2 的寄存器用于根据 I2 电流计算得到的有功功率的二次补偿。

表 11-17 功率二次补偿寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值
0x20ED	PARAPC	设置 E1 功率二次补偿值	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x20EE	PARAQC	设置 E2 功率二次补偿值	R/W	32-bit 二进制补码	0

### 11.1.4.3 有效值噪声补偿寄存器

为了使有效值在小信号下得到更高的精度, 可以对其进行二次补偿, 补偿掉有效值噪声。

补偿方法: 在输入接地的情况下, 平方累加后的输出数据即为补偿值, 此时, 读出平方后的数据, 写入补偿寄存器即可。

表 11-18 有效值噪声补偿寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值
0x200B	NOISEIU _COM_L	设置 U 通道噪声补偿平方值 低 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值
0x200C	NOISEIU_COM_H	设置 U 通道噪声补偿平方值高 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x200D	NOISEIIA_COM_L	设置 IA 通道噪声补偿平方值低 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x200E	NOISEIIA_COM_H	设置 IA 通道噪声补偿平方值高 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x2010	NOISEIIB_COM_L	设置 IB 通道噪声补偿平方值低 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x2011	NOISEIIB_COM_H	设置 IB 通道噪声补偿平方值高 32 位	R/W	32-bit 二进制补码	0

#### 11.1.4.4 直流补偿寄存器

在直流计量模式下，可以通过直流补偿功能，补偿掉噪声。

补偿方法：在输入接地的情况下，直流值瞬时值即为补偿值，此时，读取直流值瞬时值寄存器的数据，写入直流补偿寄存器即可。

快速检测电流有效值即漏电保护模式下，由于旁路去直电路，有效值中同时又交流和直流部分，可以通过直流补偿功能，去除信号中的直流分量。

补偿方法：初次上电后，配置成正常计量模式，直流值瞬时值即为补偿值，此时，读取直流值瞬时值寄存器的数据，写入直流补偿寄存器即可。之后就可以切换到快速电流有效值监测模式。这个方法是基于信号源中直流分量部分保持不变的情况下使用。

表 11-19 直流补偿寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值
0x2018	DC_COM_P_U	设置 U 通道直流补偿值	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x2028	DC_COM_P_IB	设置 IB 通道直流补偿值	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x2020	DC_COM_P_IA	设置 IA 通道直流补偿值	R/W	32-bit 二进制补码	0

#### 11.1.4.5 带通滤波器系数寄存器

如果使能了电压/电流有效值计算通道上的带通滤波器 (BPFEN, bit6, PMCtrl3, 0x287A)，则，在降频计量时，电压/电流有效值带通滤波器的采样频率变为 800Hz，中心频率变为 12.5Hz，对 50Hz 信号有较大衰减，影响了电压/电流有效值的计量精度，也影响了线电压频率测量的准确度。所以，在从正常计量切换为降频计量时，在关闭能量累加、CF 脉冲输出及起动/潜动判断后，用户应将该寄存器配置为 0x911D3C9C。恢复到正常工作模式时，用户应将该寄存器配置为默认值 0x889374BC。

表 11-20 带通滤波器系数寄存器 (0x20EF)

地址	寄存器	R/W	数据格式	默认值	
0x20EF	PARABPF	设置带通滤波器系数	R/W	32-bit 二进制补码	0x889374BC

#### 11.1.4.6 电流检测门限值寄存器

当电流检测使能时，如果连续[IDLEN]个 I1 电流交流信号瞬时值的采样点大于该寄存器中设置的电流检测门限值即判定为检测到了电流。

表 11-21 电流检测门限值寄存器

地址	寄存器	R/W	数据格式	
0x2002	IDETTH	设置电流检测门限值	R/W	32-bit 二进制补码。Bit31 和 bit30 均为符号位。

#### 11.1.4.7 门限值寄存器/常数功率值寄存器

因为所有能量累加寄存器的实际位宽为 42 位，所以能量脉冲门限值寄存器的内容自动在低位被补 10 个 0，然后再参与能量累加寄存器运算。

起动/潜动判断电路上有一个防潜动能量累加寄存器。使能起动/潜动判断后，防潜动能量累加寄存器的输入固定为 1。当电能计量时钟频率 ( $f_{MCLK}$ ) 为 3.2768MHz、1.6384MHz 或 819.2kHz 时，防潜动能量累加寄存器每秒钟累加 12800 次；当  $f_{MCLK}$  为 32768Hz 时，防潜动能量累加寄存器每秒钟累加 2979 次。

当防潜动能量累加寄存器的累加值先达到起动/潜动判断门限值时，E1/E2 能量累加寄存器被清空，即，E1/E2 计量通道进入潜动状态。当 E1/E2 能量累加寄存器的累加值先达到能量脉冲门限值时，防潜动能量累加寄存器被清空，即，E1/E2 计量通道进行能量计量。

无论 DBLEN 为何值，标记 E1 的寄存器用于配置 E1 计量通道（有功能量）的门限值。当 DBLEN=0 时，标记 E2 的寄存器用于配置 E2 计量通道（无功能量）的门限值；当 DBLEN=1 时，标记 E2 的寄存器用于配置 E2 计量通道（有功能量）的门限值。

当选择常数功率进行能量累加的时候（PSEL1/PSEL0 = 0b10），常数功率值寄存器的值会被累加进入正向 E1 能量累加寄存器。

表 11-22 门限值寄存器/常数功率值寄存器 (R/W)

地址	寄存器	R/W	数据格式	默认值	
0x20F4	GATEP	设置 E1 能量脉冲门限值	R/W	32-bit 无符号正数	0
0x20F5	GATECP	设置 E1 能量起动/潜动判断门限值	R/W	32-bit 无符号正数	0
0x20FA	GATEQ	设置 E2 能量脉冲门限值	R/W	32-bit 无符号正数	0
0x20FB	GATECQ	设置 E2 能量起动/潜动判断门限值	R/W	32-bit 无符号正数	0
0x20FC	DATA CP	设置常数功率值	R/W	32-bit 二进制补码	0

## 11.2 电能计量时钟

电能计量时钟，即时钟 2，和 ADC 时钟的时钟源可配置为 OSC 时钟或 PLL 时钟。时钟 2 可关闭。当时钟 2 关闭时，电能计量电路停止工作。

采样电路和有效值/功率计算电路有独立的时钟门控位（GT，bit7，IDET，0x2886）。当该位置 1 时，电能计量模块中的采样电路和有效值/功率计算电路停止工作，但是能量累加电路仍然可以正常工作。

表 11-23 时钟 2 和 ADC 时钟的时钟源选择与关闭

寄存器	位	说明
SysCtrl SFR 0x80	bit7 MEAFRQ	选择电能计量时钟（时钟 2）的时钟源。 0, OSC 时钟（默认）；1, PLL 时钟。 配置这个位切换时钟 2 的时钟源；读取该位的值以获取当前时钟 2 的时钟源信息。
	Bit4 PMG	开关电能计量时钟（时钟 2）。 0, 开启（默认）；1, 关闭。

当 PLL 电路开启，并被选择为时钟 2 和 ADC 时钟的时钟源时，电能计量时钟频率与 ADC 时钟频率可配置，前者应为后者的 4 倍。

表 11-24 ADC 时钟和电能计量时钟频率配置

寄存器	位	说明
CtrlCLK 0x2867	Bit[5:4] ADCLKSEL<1:0>	ADC 时钟频率选择，204.8KHz 为基准。默认为 0。 00, ×1； 01, ×2； 10, ×4。
	Bit[3:2] MEACKSEL<1:0>	电能计量时钟频率选择，以 819.2kHz 为基准。默认为 0。 00, ×1； 01, ×2； 10, ×4。

## 11.3 基准电压

V99XX 内置一个 BandGap 电路，输出一个随温度变化较小的基准电压：1.185V（典型温度漂移 10ppm/°C），为 ADC 和 PLL 电路等提供基准电压和偏置电流。所以在开启上述电路之前应先开启电压基准电路。

该基准电压温度特性通过以下方面进行调整（无先后顺序要求）：

- 开启 BandGap 电路；
- 默认情况下，系统使能斩波去直流失调 BGPCHOPN（bit0，CtrlBGP，0x2862）。使能斩波去直流失调可以消除 BandGap 电路的直流偏置，有效开启后会导致 BandGap 的输出值发生 -50~+50mV 不等的变化，并且可以带来一定程序的温度系数改善。
- 调整 BandGap 温度系数（RESTL<1:0>和 REST<2:0>，bit[5:1]，CtrlBGP，0x2862）。

当 BandGap 温度系数的调整幅度为 x 时，电表计量误差的温度系数调整幅度为 -2x。

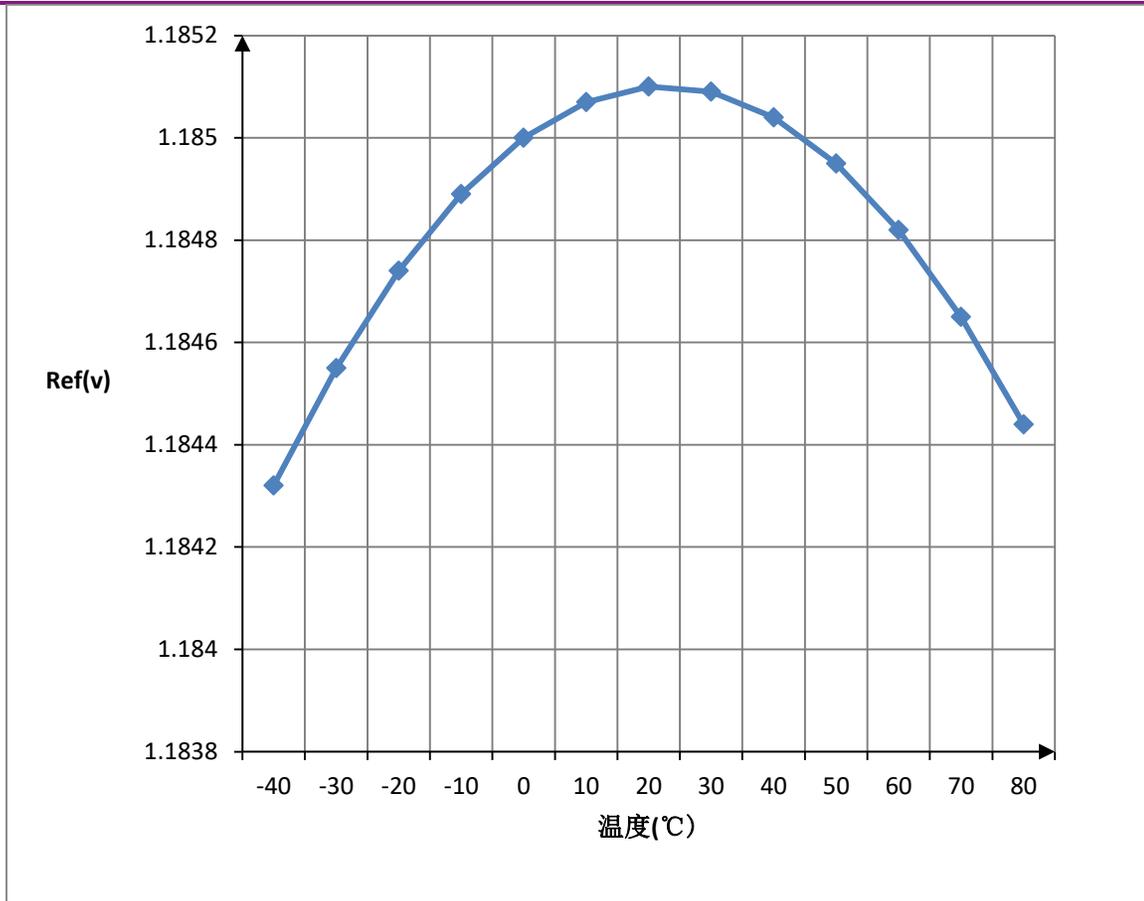


图 11-5 基准电压源温度特性曲线

V99XX 内置一个监测电路，用于监测引脚 REF 外接解耦电容的漏电情况。当该监测功能使能时，即 REFLKEN 位 (bit7, CtrlCry2, 0x2861) 置 1 时，如果电容漏电使基准电压下降超过 3%，那么 REF 漏电中断标志位 IR4 (bit4, ExInt4IFG, 0x2850) 即置 1。当 REF 漏电中断使能时，即 IE4=1 (bit4, ExInt4IE, 0x2853), EIE.2=1 (bit2, SFR 0xE8)，并且 IE.7=1 (bit7, SFR 0xA8) 时，标志位 IR4 置 1 会向 CPU 提起中断。

## 11.4 模拟信号输入

V99XX V9281 支持 2 路电流信号输入 (IAN/IAP 和 IBN/IBP)。

电流可以采用电流传感器 (CT, Current Transformer) 输入信号，采用双端完全差动输入方式，接线方式如下图所示；也可以采用锰铜电阻分流网络输入电流。

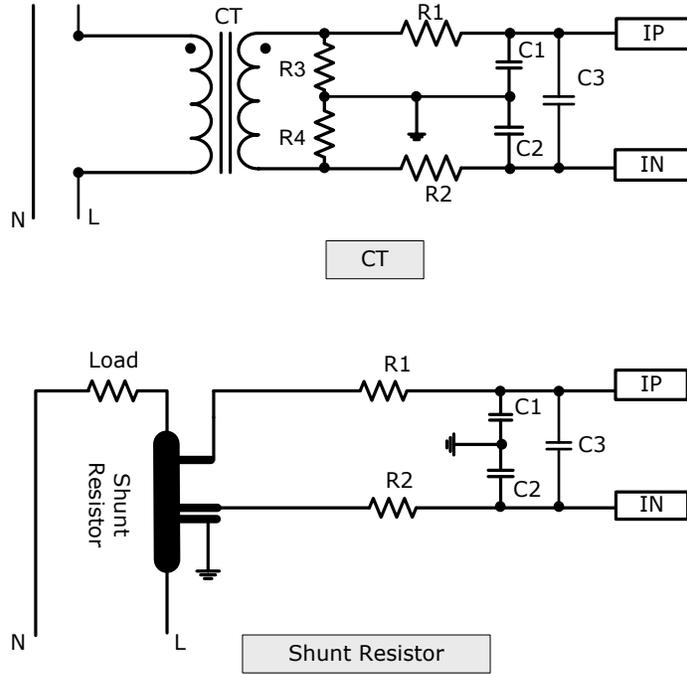


图 11-6 电流输入方式

V99XX 支持采用电压互感器方式或电阻分压方式输入电压信号，采用伪差分输入方式，相对于 UN 接地，UP 为正端。

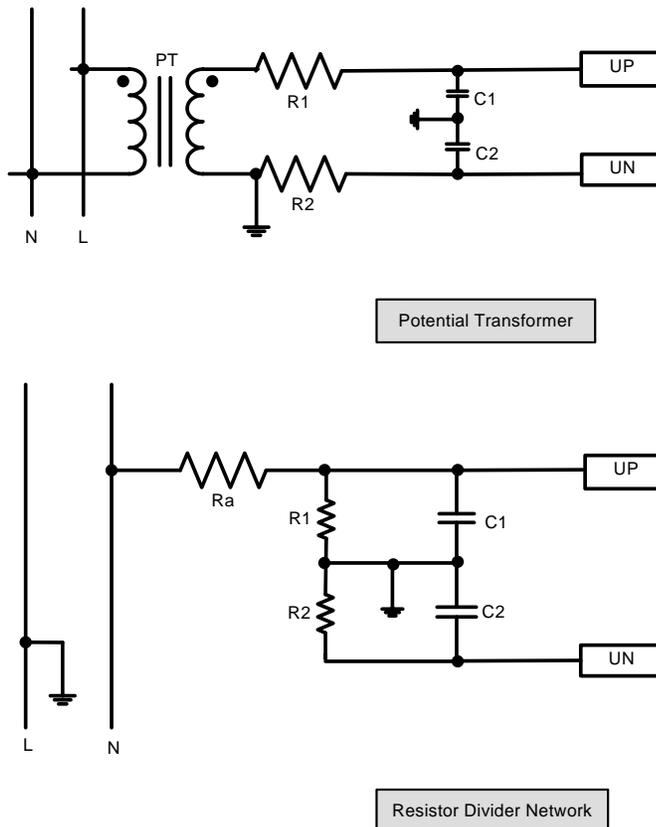


图 11-7 电压输入方式

IA、IB、U 三个差分输入通道的电压输入范围是±200mV（幅值），模数转换器（以下简称 ADC）的满量程输入范围是±1.1V，所以，片外输入电压与模拟增益（PGA）的乘积不能超过±1.1V。电流通道 IA 和 IB 的信号输入来自锰铜或电流传感器（CT），电压通道的信号输入来自电阻分压或电压传感器（PT），为了使传感器输出信号与 ADC 之间的量程相匹配，用户可通过设置 ADC 控制寄存器 0（CtrlADC0，0x2858）对电流和电压通道进行模拟增益配置。

表 11-25 电压/电流通道模拟增益配置

寄存器	位	默认值	说明
CtrlADC0 0x2858	bit6 ADCGU	0	电压通道（U）ADC 的模拟增益控制。为保证系统正常工作，该位必须配置为默认值（×1）。 0: ×1; 1: ×2。
	Bit[5:3] ADCGB<2:0>	0	电流通道 B（IB）ADC 的模拟增益控制。 为了保证传感器的输出信号大小与 ADC 量程相匹配，不可使用默认值。 000: ×1; 001: ×4; 010: ×8; 011: ×16; 100/101/110/111: ×32。
	Bit[2:0] ADCGA<2:0>	0	电流通道 A（IA）ADC 的模拟增益控制。 为了保证传感器的输出信号大小与 ADC 量程相匹配，不可使用默认值。 000: ×1; 001: ×4; 010: ×8; 011: ×16; 100/101/110/111: ×32。

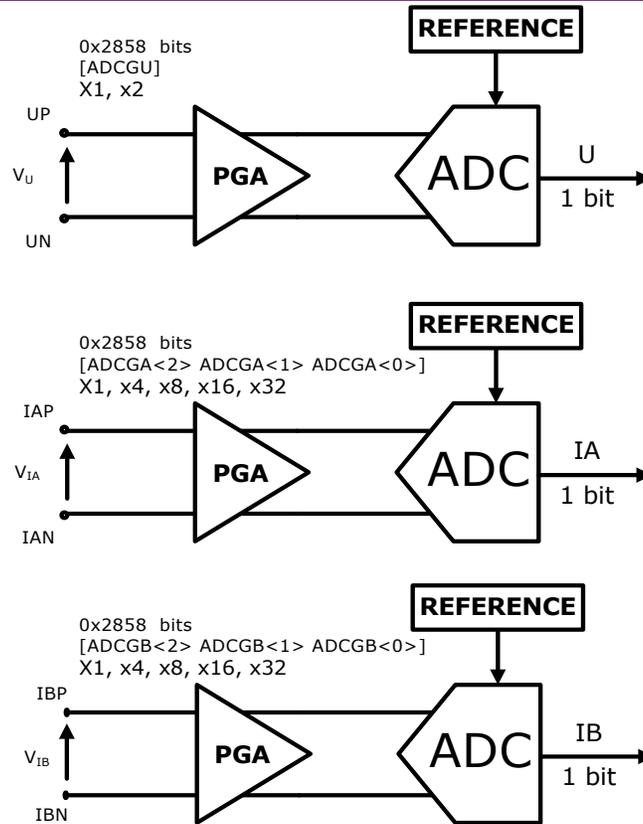


图 11-8 电流/电压通道模拟增益配置

## 11.5 模拟/数字转换

V99XX 中的电压/电流通道 ADC 都采用的是二阶的  $\Sigma/\Delta$  ADC 结构，其满量程输入范围是  $\pm 1100\text{mV}$ 。用户可通过 ADC 控制寄存器 6 (CtrlADC6, 0x2864) 开启或关闭各路通道的 ADC。

注意：为保证电流通道的性能，必须保证 DCENN 位 (bit7, CtrlLLCDV, 0x285E) 为 0，即在电流通道 ADC 输入端增加 10mV 直流失调。

表 11-26 开关电压/电流通道 ADC

寄存器	位	默认值	说明
ADC 控制寄存器 6 (CtrlADC6, 0x2864)	Bit0	ADCAPDN	0, 关闭; 1, 开启。
	Bit1	ADCBPDN	0, 关闭; 1, 开启。
	Bit2	ADCUPDN	0, 关闭; 1, 开启。

经过模拟/数字转换器，各通道的模拟输入信号转换为 22\_20-bit 的数字信号，即，数据位数为 22-bit，其中，bit21 和 bit20 为符号位。

## 11.6 计量模式选择

表 11-27 计量模式选择控制位

0x287A, R/W, PM 控制寄存器 3, PMCtrl3			
位		默认值	功能说明
Bit6	BPFEN	0	当 LPFEN=0 时, 模式选择 0: 直流计量模式 1: 快速检测电流有效值, 即漏电保护模式 当 LPFEN=1 时, 使能电压/电流有效值计算电路上的带通滤波器。 0: 禁止 1: 使能
Bit5	LPFEN	0	模式选择 0: 直流计量模式或快速检测电流有效值模式。具体由 BPFEN 决定。 1: 正常计量。

**BPFEN = 0, LPFEN = 0:** 直流计量模式。此时功率计算通路上旁路去直, U、IA、IB 有效值计算通路上旁路去直、带通滤波器。数字 PGA 对功率和有效值均有效; 直流补偿对功率和有效值均有效。直流计量时, 应该在程序中设置 DBLEN=1, 即为两路有功模式。

**BPFEN = 1, LPFEN = 0:** 快速检测电流有效值, 即漏电保护模式。此时两路功率均不旁路去直, 正常计量。三个有效值计算通路旁路去直流滤波器, 以提高有效值的响应速度到 30ms, 用于检测漏电。数字 PGA 对功率有效, 对有效值无效; 直流补偿对功率无效, 对有效值有效。

**BPFEN = 0, LPFEN = 1:** 正常计量, 有效值不开启带通滤波器模式。此时两路功率均不旁路去直, 正常计量。三个有效值计算通路均不旁路去直流滤波器, 但是没有开启带通滤波器。数字 PGA 对功率和有效值均有效; 直流补偿对功率和有效值均无效。

**BPFEN = 1, LPFEN = 1:** 正常计量, 有效值开启带通滤波器模式。此时两路功率均不旁路去直, 正常计量。三个有效值计算通路均不旁路去直流滤波器, 开启带通滤波器。数字 PGA 对功率和有效值均有效; 直流补偿对功率和有效值均无效。

使能位于电压/电流有效值计算电路上的带通滤波器, 可以提高有效值计算的准确度, 但是会损失谐波成分, 在小信号的时候会导致较大的数字截断噪声, 并导致系统响应时间变长。

## 11.7 电流计量通道选择

IA 和 IB 两路电流信号可以选择进入不同的计量通道参与后续的运算, 详见[错误!未找到引用源。](#)

表 11-28 电流计量通道选择控制位

寄存器	位	功能说明
PMCtrl1, 0x2878	SELI Bit5	选择电流计量通道。默认值为 0。 0, IA 通道的信号进入计量通道 I1, IB 通道的信号进入计量通道 I2; 1, IA 通道的信号进入计量通道 I2, IB 通道的信号进入计量通道 I1

电流通道切换完成后, I1 和 I2 电流信号被输入角差校正模块进行角差校正, 以消除因采样电路和 ADC 的失配引起的电压/电流信号之间的相位差。

## 11.8 角差校正

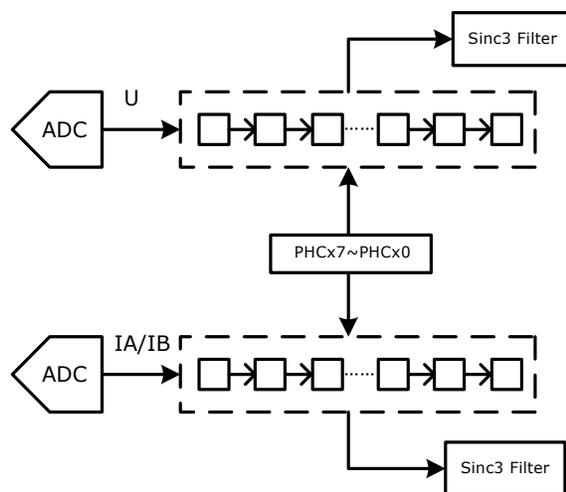


图 11-9 角差校正原理图

角差校正的原理是在电压和电流通道上引入固定长度的延迟链，根据电压和电流之间的相位超前或滞后关系，选择电压被延迟或电流被延迟，因此角差校正的最小分辨率就是延迟链上两个相邻单元之间的相位差，而总的角差校正角度是最小分辨率与延迟链的长度之积。

角差校正默认关闭。用户可通过配置 PHCEN (bit6, PMCtrl1, 0x2878) 开启角差校正功能。

在 V99XX 中，当角差校正电路的采样频率 ( $f_{smp1}$ ) 为 3.2768MHz 时，角差校正的分辨率是 0.0055°/lsb，总校正量为 ±1.4°。角差校正电路的采样频率 ( $f_{smp1}$ ) 由 MEACLKSEL<1:0>位 (bit[3:2], CtrlCLK, 0x2867) 的配置决定。

当寄存器 PHCCtrl1 (0x287B) 和寄存器 PHCCtrl2 (0x287C) 的最高位为 1 时，延时电压；最高位为 0 时，延时电流。

角差校正 PF=0.5L 的时候进行，PF=0.5L 的角差校正简化计算公式 (对计算结果四舍五入取整)

$$N = Round\left(\frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{smp1}}{819200}\right) \quad \text{公式 11-1}$$

其中，

N 为写入角差校正寄存器的值，带符号。如果 N 为正值，表示延时电流，所以在符号位写入“0”；如果 N 为负值，表示延时电压，所以在符号位写入“1”；

$f_{smp1}$  的值由 MEACLKSEL<1:0>位 (bit[3:2], CtrlCLK, 0x2867) 的配置决定，详见“[错误!书签自引用无效。](#)”，Hz；

E 为台体显示的误差。

表 11-29 不同  $f_{smp1}$  下的角差分辨率和校正范围

N 取值范围	频率控制位配置	$f_{smp1}$ (Hz)	角差分辨率 (°/lsb)	校正范围 (°)	
[-255, +255]	MEACLKSEL<1:0>	00	819200	0.022	5.6
	bit[3:2], 0x2867	01	1638400	0.011	2.8

N 取值范围	频率控制位配置	$f_{smp1}$ (Hz)	角差分辨率 ( $^{\circ}/lsb$ )	校正范围 ( $^{\circ}$ )
		10	3276800	0.0055
				1.4

表 11-30 角差校正配置

PHCCtrl1 (0x287B) /PHCCtrl2 (0x287C)								CRPST (0x287F)
bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	bit[3:2]/bit[1:0]
PHCx7	PHCx6	PHCx5	PHCx4	PHCx3	PHCx2	PHCx1	PHCx0	I <sub>x</sub> PHC

x=A 或 B。其中 PHCx7 为角差校正值的符号位；PHCx6 未使用；其余 8-bit 用于配置角差校正绝对值。

## 11.9 数字信号输入

过采样  $\Sigma/\Delta$  ADC 输出 1bit 码流伴有大量的高频噪声，通常用 CIC 滤波器[抽取滤波器 (Decimation Filter)]来抑制该噪声，并将 ADC 采样频率降低 256 倍。

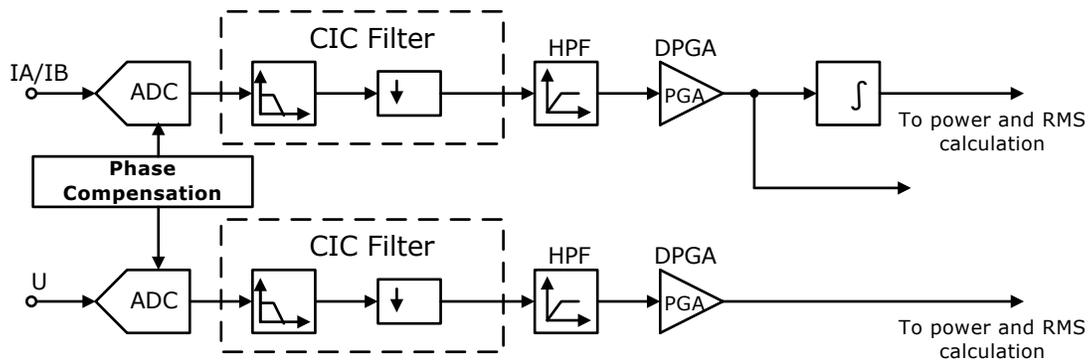


图 11-10 数字信号输入

通过配置 PM 控制寄存器 1 (PMCtrl1, 0x2878) 中的 bit[2:0]，用户可以决定是否将 ADC 输出的数字信号输入抽取滤波器中进行降采样处理。开启该功能时，ADC 的输出信号被累加进入抽取滤波器；关闭该功能时，抽取滤波器输入信号为 0。

表 11-31 数字信号输入使能

寄存器	bit	功能说明
PM 控制寄存器 1 (PMCtrl1, 0x2878)	ONI2 Bit2	I2 通道数字信号输入使能。默认值为 0。 0, 屏蔽 I2 通道的数字信号输入, 使得 I2 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 I2 通道数字信号输入
	ONI1 Bit1	I1 通道数字信号输入使能。默认值为 0。 0, 屏蔽 I1 通道的数字信号输入, 使得 I1 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 I1 通道数字信号输入
	ONU Bit0	电压通道 (U) 数字信号输入使能。默认值为 0。 0, 屏蔽 U 通道的数字信号输入, 使得 U 通道的数字信号输入为 0; 1, 使能 U 通道数字信号输入

经 CIC 滤波器处理的信号，再经过高通滤波器，滤除传感器和 ADC 可能引入的直流分量。在 V99XX 中，高通滤波器不可被旁路。当 ADC 时钟频率为 819.2kHz 时，50Hz 电网应用时该高通滤波器的响应时间是 60ms。

用户可通过 PM 控制寄存器 2 (PMCtrl2, 0x2879) 和 PM 控制寄存器 3 (PMCtrl3, 0x287A) 对经高通滤波处理的电压/电流信号进行数字增益配置，从而增大小信号输入下对截断噪声的抑制能力。

表 11-32 计量通道信号数字增益配置

寄存器	bit	功能说明
PM 控制寄存器 3 (PMCtrl3, 0x287A)	PGANS	计量通道 I2 数字增益符号位。默认为 0。
	Bit3	0, 正号; 1, 负号。
	PGAN2~PGAN0 Bit[2:0]	计量通道 I2 数字增益控制, 取值范围为 0~5, 增益计算方法为 $Gain=2^{PGANx}$ 。默认为 0。
PM 控制寄存器 2 (PMCtrl2, 0x2879)	PGACS	计量通道 I1 数字增益符号位。默认为 0。
	Bit7	0, 正号; 1, 负号。
	PGAC2~PGAC0 Bit[6:4]	计量通道 I1 数字增益控制, 取值范围为 0~5, 增益计算方法为 $Gain=2^{PGACx}$ 。默认为 0。
	PGAUS	电压通道 (U) 数字增益符号位。默认为 0。
Bit3	0, 正号; 1, 负号。	
	PGAU2~PGAU0 Bit[2:0]	U 通道数字增益控制。取值范围为 0~5。增益计算方法为 $Gain = 2^{PGAUX}$ 。

此时获得的电压/电流的数字信号的值分别根据如下公式计算得到：

$$U_a = PGAdua \times PGAua \times Aua \times \sin \omega t \div 1.185 = DUa \times \sin \omega t$$

$$I_a = PGAdia \times PGAia \times Aia \times \sin(\omega t + \psi) \div 1.185 = DIa \times \sin(\omega t + \psi)$$

其中，

PGAdua 或 PGAdia 为各通道的数字增益；

PGAua 或 PGAia 为各通道的模拟增益；

Aua 或 Aia 为各通道信号的输入信号的幅度 (V)；

1.185 为基准电压 (V)。

## 11.10 快速电流检测

为了降低功耗，V99XX 支持快速电流检测，有两种方案可以选择。

1, 对 I1 电流通道上的瞬时电流信号的交流分量作快速电流检测，如**错误!未找到引用源。**所示。

开启电流检测功能时，必须开启电能计量时钟 (PMG, bit4, SysCtrl, SFR 0x80)，开启采样电路和功率/有效值计算电路的时钟 (GT, bit7, IDET, 0x2886)，并使能功率和有效值计算功能 (PREN, bit4, PMCtrl1, 0x2878)。

在寄存器 IDETTH (0x2002) 设置电流检测门限值。在寄存器 IDET (0x2886) 中，当 DETON 位 (bit4) 置 1 时，电流检测功能使能；在 bit[3:0] 中设置电流检测宽度 ([IDLEN])，[IDLEN] 的值对电流检测时间 ( $t_{IDT}$ ) 的关系如下：

$$t_{IDT} = \frac{256 \times ([IDLEN] + 1)}{f_{ADC}} \times 1000 \quad \text{公式 11-2}$$

其中，256 为抽取滤波器的降采样倍数；[IDLEN]为 IDLEN 位的配置值； $f_{ADC}$ 为 ADC 的采样频率（Hz）； $t_{IDT}$ 为电流检测时间（ms）。

当连续（[IDLEN]+1）个电流信号采样点的数值大于门限值时即被认为检测到了电流，CST 位（bit6）置 1。检测到电流后，用户应将 CLR 位（bit5，IDET，0x2886）置 1 或将 DETON 位清零才能将 CST 位清零。

2, BPFEN = 1, LPFEN = 0: 快速检测电流有效值，即漏电保护模式。此时两路功率均不旁路去直，正常计量。三个有效值计算通路旁路去直流滤波器，以提高有效值的响应速度到 30ms，用于检测漏电。数字 PGA 对功率有效，对有效值无效；直流补偿对功率无效，对有效值有效。

## 11.11 有效值计算和校正

用户可通过 PREN 位(bit4, 0x2878, PMCtrl1)开启或关闭电压/电流有效值计算电路,通过 BPFEN 位(bit6, 0x287A, PMCtrl3) 开启或关闭有效值计算电路上的带通滤波器，并通过调节带通滤波器系数来提高有效值计算的准确度。采样电路和功率/有效值计算电路可被独立门控（GT, bit7, IDET, 0x2886）。此时，能量累加电路仍然正常工作，所以，在常数计量模式下，用户可将 GT 位置 1，但使能能量累加（EGYEN 位置 1），使采样电路和功率/有效值计算电路停止工作，仅使能量累加电路正常工作，从而进一步降低系统功耗。但是需要注意，在关闭上述电路之前，必须先配置能量脉冲门限值。

表 11-33 有效值计算的寄存器配置

寄存器	bit	说明
IDET 0x2886	GT Bit0	门控采样电路和功率/有效值计算电路。 0: 采样电路和功率/有效值计算电路正常工作； 1: 采样电路和功率/有效值计算电路停止工作。
PMCtrl1 0x2878	PREN Bit4	控制有功/无功功率、有效值和视在功率计算以及 M 通道数字信号处理。 默认为 0（禁止）。
PMCtrl3 0x287A	BPFEN Bit6	使能电压/电流有效值计算电路上的带通滤波器。 默认为 0（禁止）。
带通滤波器系数寄存器 (0x20EF)		带通滤波器系数寄存器。 正常计量时，该寄存器的值应采用默认值 0x889374BC。降频计量时，在关闭能量累加、CF 脉冲输出和起动/潜动判断后，该寄存器的值应配为 0x911D3C9C。 恢复到正常计量后，该寄存器应恢复为默认值。
0x2003		地址为 U 平方累加后的数据低 32 位
0x2004		地址为 U 平方累加后的数据高 32 位
0x2006		地址为 IA 平方累加后的数据低 32 位
0x2007		地址为 IA 平方累加后的数据高 32 位
0x2008		地址为 IB 平方累加后的数据低 32 位

寄存器	bit	说明
0x2009		地址为 IB 平方累加后的数据高 32 位
0x200B		U 有效值二次补偿值低 32 位
0x200C		U 有效值二次补偿值高 32 位
0x200D		IA 有效值二次补偿值低 32 位
0x200E		IA 有效值二次补偿值高 32 位
0x2010		IB 有效值二次补偿值低 32 位
0x2011		IB 有效值二次补偿值高 32 位

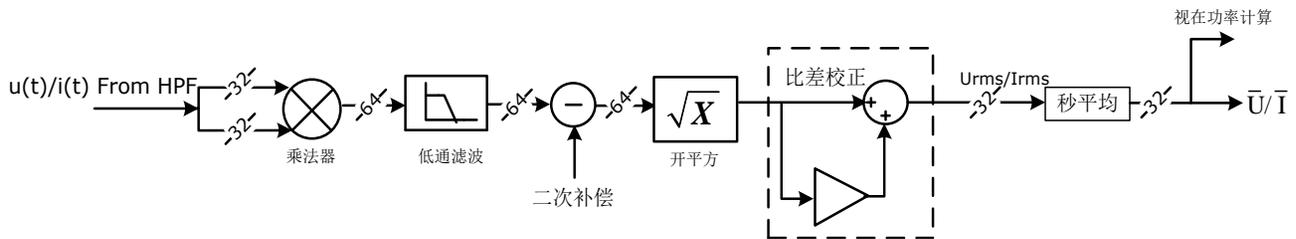


图 11-11 电流/电压有效值计算信号处理

电流/电压有效值计算的信号流如上图所示。来自高通滤波器输出的电流/电压信号首先自相关相乘，其乘积含有 2 次谐波，经过低通滤波器后可滤除谐波和噪声引起的纹波，得到电流/电压的平方，然后再做开平方运算，得到 32 位有效值数据，该数据经过比差校正后，存于瞬时电压/电流有效值寄存器。

电压/电流有效值的计算公式：

$$U_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times U_a$$

$$I_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times I_a$$

其中， $U_{rms}$  和  $I_{rms}$  为电压和电流的有效值；

$U_a$  和  $I_a$  为电压和电流的数字信号值。

有效值二次补偿方法：在输入接地的情况下，平方累加后的输出数据即为补偿值。此时，读出平方后的数据，写入相应有效值二次补偿寄存器即可

用户可在有效值比差寄存器中设置电压/电流有效值的比差校正。比差校正后的有效值数据会进行秒平均，存于电压/电流有效值秒平均值寄存器。上述所有寄存器均为 32 位补码数据。当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，这些寄存器被复位。

## 11.12 视在功率计算

视在功率计算与电压/电流有效值计算同时开启或关闭。采样电路和功率/有效值计算电路可被独立门控（GT，bit7，IDET，0x2886）。此时，能量累加电路仍然正常工作，所以，在常数计量模式下，用户可将 GT 位置 1，但使能量累加（EGYEN 位置 1），使采样电路和功率/有效值计算电路停止工作，仅使能量累加电路正常工作，从而进一步降低系统功耗。但是需要注意，在关闭上述电路之前，必须先配置能量脉冲门限值。

经过秒平均后的电压/电流有效值会被用于视在功率计算：

$$S = I_{rms} \times U_{rms}$$

其中，

$S$  为视在功率（单位：VA）；

$I_{rms}$  为经过秒平均后的电流有效值；

$U_{rms}$  为经过秒平均后的电压有效值。

计算得到的秒平均视在功率，存于秒平均视在功率寄存器中。上述寄存器为 32 位补码数据。当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，这些寄存器被复位。

### 11.13 有功/无功功率计算和校正

有功/无功功率计算与电压/电流有效值计算同时开启或关闭。采样电路和功率/有效值计算电路可被独立门控（GT, bit7, IDET, 0x2886）。此时，能量累加电路仍然正常工作，所以，在常数计量模式下，用户可将 GT 位置 1，但使能量累加（EGYEN 位置 1），使采样电路和功率/有效值计算电路停止工作，仅使能量累加电路正常工作，从而进一步降低系统功耗。但是需要注意，在关闭上述电路之前，必须先配置能量脉冲门限值。

当两路电流计量通道的信号用于功率计算时，用户可通过 DBLEN 位（bit4, 0x287A, PMCtrl3）选择电流计量通道的信号处理方式。如下表所示，当 DBLEN 位写入 0 时（默认值），仅 I1 电流信号同时进行有功和无功功率计算；当 DBLEN 位写入 1 时，I1 和 I2 电流均进行有功功率计算。

表 11-34 功率计算选择

控制位	功率计算选择		数据存储	
	E1 通道	E2 通道	“E1”标记寄存器	“E2”标记寄存器
0	有功	无功	根据 I1 电流得到的有功数据	根据 I1 电流得到的无功数据
1	有功	有功	根据 I1 电流得到的有功数据	根据 I2 电流得到的有功数据

注：表中所述“E1”/“E2”标记寄存器，包括：功率瞬时值寄存器、功率秒平均值寄存器、功率比差寄存器、功率二次补偿值寄存器、正向/反向能量累加寄存器和能量脉冲计数器、能量脉冲门限值和起动/潜动判断门限值寄存器等。

#### 11.13.1 有功功率计算

当 DBLEN=0 时，I1 通道电流信号同时进行有功和无功功率计算；当 DBLEN=1 时，I1 和 I2 通道电流信号均进行有功功率计算。

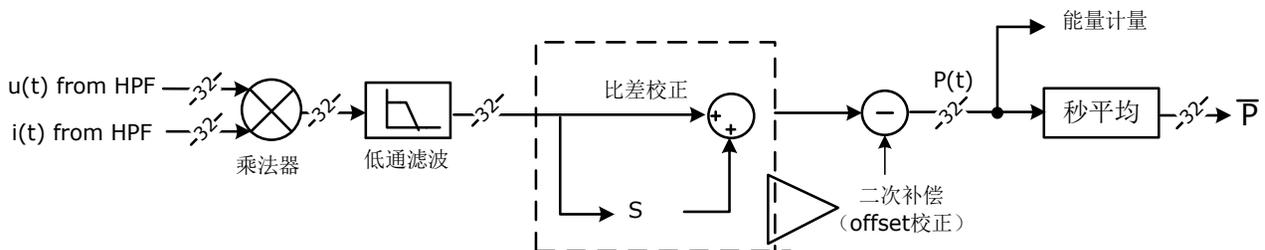


图 11-12 有功功率计算

来自高通滤波器输出的电流和电压信号相乘，其乘积经过低通滤波器后可滤除谐波和噪声引起的纹波，得到 32 位有功功率数据，该数据经过二次补偿（offset 校正）后，再经过比差校正，存于瞬时 E1 或 E2 功率寄存器，参与后续有功能量累加。

有功功率的计算公式如下：

$$P = \frac{1}{2} \times U_a \times I_a$$

其中，P 为有功功率（W）；

$U_a$  和  $I_a$  为电压和电流的数字信号的值。

比差校正后的有功功率数据会进行秒平均，存于 E1 或 E2 功率秒平均值寄存器。

上述所有寄存器均为 32 位补码数据。当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，这些寄存器被复位。

50Hz 电网应用时，如果电能计量时钟频率为 3.2768MHz，ADC 时钟频率是 819.2KHz，那么，

1. 有功功率计算电路上的低通滤波器的响应时间是 40ms；
2. 有功功率瞬时值寄存器更新时间为 80ms，稳定时间为 250ms；
3. 秒平均数据寄存器的值每 1.28 秒更新 1 次。

### 11.13.2 无功功率计算

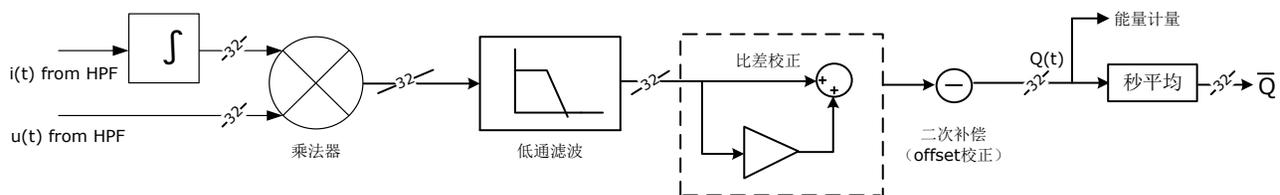


图 11-13 无功功率计算

当 DBLEN=0 时，I1 通道的电流信号同时进行有功功率和无功功率计算。

无功功率计算与有功功率计算类似，但，采用锰铜电阻分流网络或 CT 输入电流时，输入的电流信号需要经过一个数字积分网络，经该网络处理后输出的电流信号用于无功功率计算。该积分器会带来额外的 1.568 倍增益，可经由比差校正消除。

经低通滤波器处理后的 32 位无功功率数据经过二次补偿（offset 校正）和比差校正后，存于瞬时 E2 功率寄存器，参与后续的无功能量累加。比差校正后的无功功率数据也会进行秒平均，存于秒平均 E2 功率寄存器。

50Hz 电网应用时，如果电能计量时钟频率为 3.2768MHz，ADC 时钟频率是 819.2KHz，那么，

1. 无功功率计算电路上的低通滤波器的响应时间是 40ms；
2. 有功功率瞬时值寄存器更新时间为 80ms，稳定时间为 250ms；
3. 秒平均数据寄存器的值每 1.28 秒更新 1 次。

## 11.14 能量累加和 CF 脉冲输出

### 11.14.1 能量累加和脉冲产生

用户可通过 PM 控制寄存器 4（PMCtrl4, 0x287D）的 EGYEN 位（bit3）开启或关闭能量累加和能量脉冲计数，通过 PSEL1~PSEL0 位（bit[1:0]）选择累加到正向 E1 能量累加寄存器的功率源；通过脉冲输出控制寄存器（CFCtrl, 0x287E）中的 CFSELR1~CFSELR0（bit[3:2]）和 CFSEL1~CFSEL0（bit[1:0]）选择 E2 和 E1 能量脉冲源。

V99XX 支持脉冲常数加倍。通过增大脉冲常数，使能量脉冲门限值减小，从而加快脉冲产生速度，用户可通过 CFQR1~CFQR0 (bit[7:6]) 和 CFQ1~CFQ0 (bit[5:4]) 配置能量脉冲的产生速度。输入小信号时，用户可提高能量脉冲的产生速度，从而缩短校表所需要的时间。

如下图所示，当使能能量累加和能量脉冲计数时，V99XX 可根据功率符号将功率分别累加到正反向 E1/E2 能量累加寄存器，当能量累加寄存器的值超过相对应的能量脉冲门限值时，产生一个能量脉冲，同时在对应的能量脉冲计数器中加 1，并从能量累加寄存器累积数据中减去一个能量脉冲门限值。

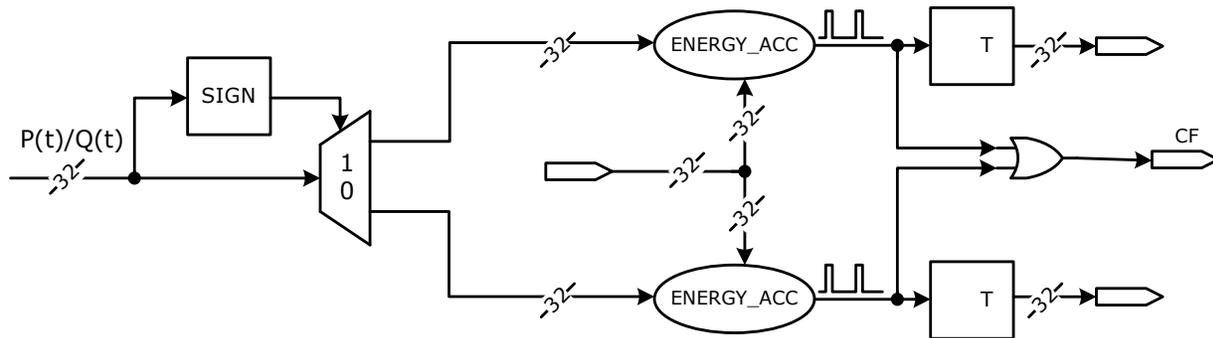


图 11-14 有功/无功能量累加和脉冲计数

表 11-35 能量累加/功率源选择/脉冲源选择/能量脉冲产生速率控制位

寄存器	位	说明
PM 控制寄存器 4 (PMCtrl4, 0x287D)	Bit3	EGYEN 能量累加和能量脉冲计数使能。默认为 0。 0, 禁止; 1, 使能。
	Bit[1:0]	PSEL1~PSEL0 正向 E1 能量累加寄存器功率源选择。默认为 0。 00 或 11, E1 功率; 01, I1 通道电流有效值; 10, 功率常数。
脉冲输出控制寄存器 (CFCtrl, 0x287E)	Bit[7:6]	CFQR1~CFQR0 E2 能量脉冲产生速率控制, 可用于小信号加速校表。默认为 0。 00, 1 倍; 01, 4 倍; 10, 8 倍; 11, 16 倍。
	Bit[5:4]	CFQ1~CFQ0 E1 能量脉冲产生速率控制, 可用于小信号加速校表。默认为 0。 00, 1 倍; 01, 4 倍; 10, 8 倍; 11, 16 倍。
	Bit[3:2]	CFSELR1~CFSELR0 E2 能量脉冲源选择。默认为 0。 01, 正向 E2 能量; 10, 反向 E2 能量; 00/11, 正向以及反向 E2 能量的绝对值之和。
	Bit[1:0]	CFSEL1~CFSEL0 E1 能量脉冲源选择。默认为 0。 01, 正向 E1 能量; 10, 反向 E1 能量; 00/11, 正向以及反向 E1 能量的绝对值之和。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz、1.6384MHz 或 819.2kHz 时，能量累加寄存器每秒钟累加 12800 次；当电能计量时钟频率为 32768Hz 时，能量累加寄存器每秒钟累加 2979 次。

所有能量累加寄存器、能量脉冲计数器和能量脉冲门限值寄存器有效数据均为 32-bit 无符号正数。能量累加寄存器的实际位宽为 42 位，读操作时，读出高 32 位；写操作时，访问高 32 位，同时低 10 位会被自动补 0。因此，能量脉冲门限值寄存器的内容会被自动在低位补 10 个 0 后，再参与能量累加寄存器运算。

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，所有能量累加寄存器、能量脉冲计数器和能量脉冲门限值寄存器均被复位。

### 11.14.2 CF 脉冲输出

用户可通过 PM 控制寄存器 4 (PMCtrl4, 0x287D) 的 CFENR 位 (bit5) 和 CFEN 位 (bit4) 开启或关闭 E2 和 E1 计量通道的 CF 脉冲输出，并通过 CFXCG (bit2) 选择 CF1 和 CF2 脉冲输出引脚。

当 CF 脉冲输出使能时，能量脉冲计数器每累加 2 次输出一个 CF 脉冲。

V99XX 最多提供 4 个 CF 脉冲输出引脚：CF1、P9.5/CF2、P9.6/CF1 和 P1.3/CFx。其中，CF1 仅用于 E1 能量脉冲输出。

P9.5 和 P9.6 仅在 P9 功能选择寄存器 (P9FS, SFR 0xAD) 的 bit5 和 bit6 置 1 时才用于 E1 和 E2 能量脉冲的输出；

- P1.3 用作 CF 脉冲输出则取决于 P1.3 功能选择寄存器 (P13FS, 0x28C7, R/W) 的值：

当 P13FS=0x01 时，该引脚用于 E2 能量脉冲输出；

当 P13FS=0x04 时，该引脚用于 E1 能量脉冲输出。

表 11-36 CF 脉冲输出配置

寄存器	位	说明
PM 控制寄存器 4 (PMCtrl4, 0x287D)	Bit5	CFENR E2 能量 CF 脉冲输出使能。0, 禁止；1, 使能
	Bit4	CFEN E1 能量 CF 脉冲输出使能。0, 禁止；1, 使能
	Bit2	CFXCG CF 脉冲输出引脚选择。 0, E1 能量 CF 脉冲从引脚 CF1 输出，E2 能量 CF 脉冲从引脚 CF2 输出； 1, E2 能量 CF 脉冲从引脚 CF1 输出，E1 能量 CF 脉冲从引脚 CF2 输出

当 CFWKEN 位 (bit2, IOWK, SFR 0xC9) 置 1 时，CF 脉冲输出会将系统从浅睡眠状态下唤醒。默认情况下，CF 脉冲输出会唤醒并复位系统，使系统回到 OSC 状态；当 IORSTN 位 (bit0, IOWK, SFR 0xC9) 置 1 时，CF 脉冲输出仅唤醒系统而不复位系统，此时，系统被唤醒后，CPU 继续执行程序，所有的电路均保持休眠前的状态，仅 SysCtrl (SFR 0x80) 中的 SLEEP1 和 SLEEP0 (bit[2:1]) 及 FWC 和 FSC (bit[6:5]) 被清零。用户可通过查询 RTC/CF 位 (bit2, Systate, SFR 0xA1) 和 CFWK 位 (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 来判断系统是否因 CF 脉冲输出被唤醒。当它们均置 1 时，表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz，ADC 时钟频率为 819.2kHz 时，CF 脉冲的最高输出频率是 6.4kHz，CF 正常输出的脉冲宽度是 80ms。用户可通过 CFWD 位 (bit[5:4], CRPST, 0x287F) 设置 CF 脉冲的宽度。

CF 脉冲输出频率与能量脉冲产生频率成正比。通过脉冲输出控制寄存器 (CFCtrl, 0x287E) 中的 bit[7:4] (CFQR1~CFQR0 和 CFQ1~CFQ0) 配置能量脉冲的产生速度，即可调整 CF 脉冲输出速度。

### 11.15 起动/潜动判断

用户可通过 CRPENR 位和 CRPEN 位 (bit7 和 bit6, 0x287D, PMCtrl4) 使能 E2 和 E1 计量通道的起动/潜动判断功能。

V99XX 内部有一个防潜动能累加寄存器，当起动/潜动判断使能后，该能量累加寄存器的输入固定为 1，而 E1/E2 能量累加寄存器输入为 E1/E2 功率或常数功率值。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz、1.6384MHz 或 819.2kHz 时，E1/E2 能量累加寄存器和潜动能累加寄存器每秒累加 12800 次；当电能计量时钟频率为 32768Hz 时，E1/E2 能量累加寄存器和潜动能累加寄存器每秒累加 2979 次。当防潜动能累加寄存器的累加

值先达到起动/潜动判断门限值时，E1/E2 能量累加寄存器被清空，E1/E2 计量通道进入潜动状态。当 E1/E2 能量累加寄存器的累加值先达到 E1/E2 能量脉冲门限值时，防潜动能量累加寄存器被清空，E1/E2 计量通道进入电能计量状态。

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，E1/E2 能量起动/潜动判断门限值寄存器被复位。

用户可通过 CRPST 位和 CRPSTR 位（bit7 和 bit6，0x287F，CRPST）来判断 E1/E2 计量通道是否处于潜动状态。

表 11-37 起动/潜动判断控制位和标志位

寄存器	bit	说明
PMCtrl4 0x287D	CRPENR Bit7	E2 计量通道起动/潜动判断使能。 默认为 0（禁止）。
	CRPEN Bit6	E1 计量通道起动/潜动判断使能。 默认为 0（禁止）。
CRPST 0x287F	CRPST Bit7	E1 计量通道起动/潜动状态指示，只读。 0，正常计量；1，潜动。
	CRPSTR Bit6	E2 计量通道起动/潜动状态指示，只读。 0，正常计量；1，潜动。

## 11.16 线电压频率测量

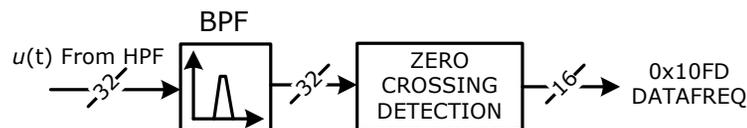


图 11-15 线电压频率测量原理

V99XX 支持线电压频率测量。其实现原理是先将高通滤波之后的线电压信号  $u(t)$  经过一个中心频率为 50Hz 的带通滤波器（该滤波器在 150Hz 有 25dB 衰减）进行滤波，然后对滤波输出的信号做过零点检测，经过 16 个信号周期平均后输出频率测量结果，存于频率值寄存器（DATAFREQ，0x20FD）。线电压频率测量的分辨率可达到 0.05Hz/lsb，频率的测量范围是 35Hz~75Hz。

**注：**在降频计量时，带通滤波器的采样频率降为 800Hz，中心频率降为 12.5Hz，对 50Hz 信号有较大衰减，影响了线电压频率测量的精度。所以，从正常计量切换为降频计量时，用户应将带通滤波器系数寄存器（0x20EF）配置为 0x911D3C9C。

线电压频率值直接从频率值寄存器（DATAFREQ，0x20FD）中读出，一般无需校准。根据线电压频率，用户可直接计算得到信号频率：

$$f = f_{\text{ADC}} / \text{Freq}$$

其中，f：信号频率，Hz；

$f_{ADC}$ : ADC 时钟频率, Hz;

Freq: 频率值寄存器的值 (以十进制计)。

频率值寄存器的值为 16 位无符号正数。当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时, 频率值寄存器被复位。

50Hz 应用下, 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz, ADC 时钟频率为 819.2KHz 时, 频率值寄存器的更新时间为 320ms, 稳定时间为 500ms。

V99XX 可配置为 50Hz 电网或 60Hz 电网应用。在 50Hz 电网下, 当信号频率为 50Hz 时, 频率值寄存器输出 0x4000 (十进制: 16384); 在 60Hz 电网下, 当信号频率为 60Hz 时, 频率值寄存器输出 0x4000。

在信号频率增大的时候, 频率值寄存器输出值线性减小; 在信号频率减小的时候, 频率值寄存器输出值线性增大。

表 11-38 信号频率大小与频率值寄存器输出值的线性关系

电网	信号频率	频率值寄存器读数
50Hz	25Hz	0x8000
	50Hz	0x4000
	100Hz	0x2000
60Hz	30Hz	0x8000
	60Hz	0x4000
	120Hz	0x2000

## 11.17 M 通道测量

### 11.17.1 M 通道结构

M 通道的外部 and 内部连接图如下所示。M 通道可配置成测量内部地/温度/电池电压/外部电压信号。

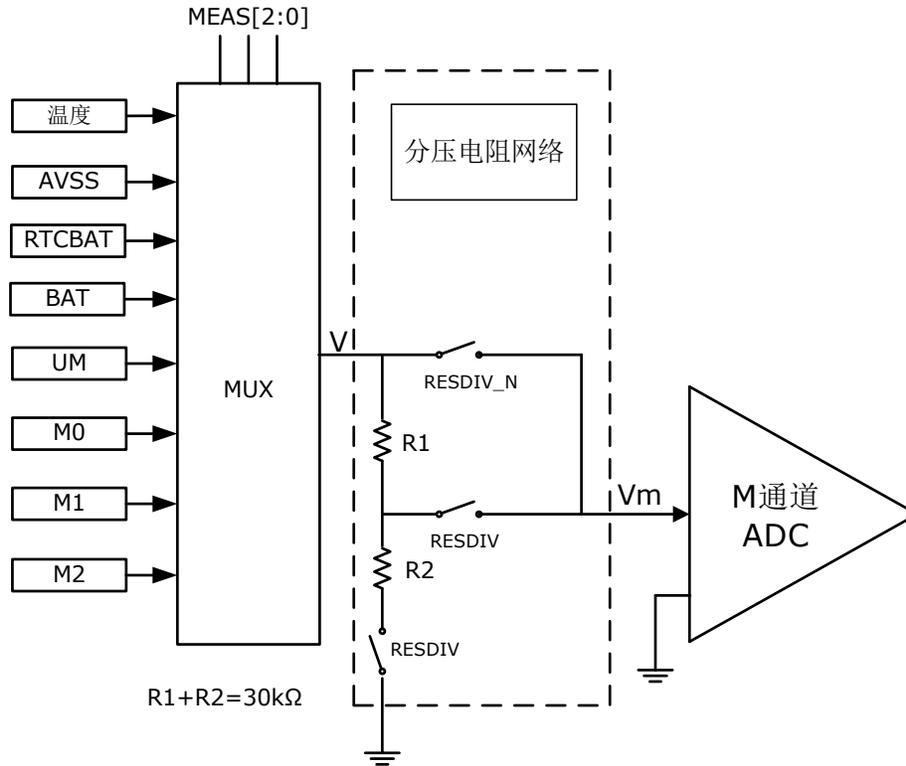


图 11-16 M 通道外部连接图

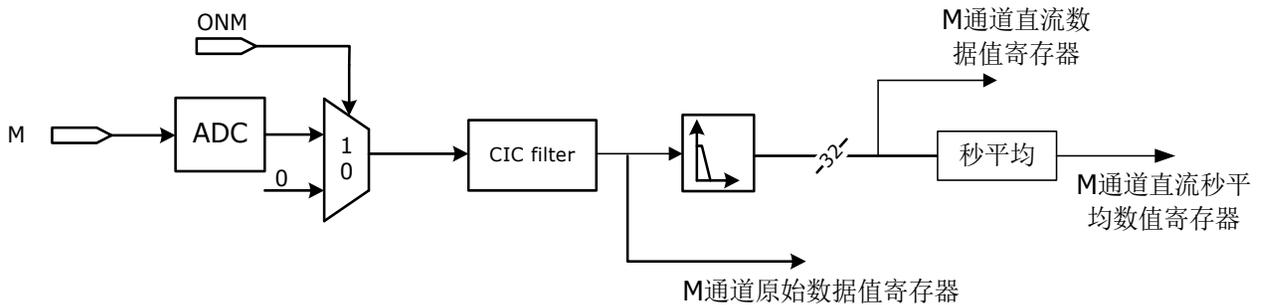


图 11-17 M 通道内部连接图

由于 M 通道只有一个 ADC，所以电池电压、温度和外部电压信号只能交替测量。用户可通过 ADC 控制寄存器 0 (CtrlADC0, 0x2858)/ADC 控制寄存器 5 (CtrlADC5, 0x2863)/ADC 控制寄存器 6 (CtrlADC6, 0x2864) / M 通道控制寄存器 (CtrlM, 0x2865) 和 PM 控制寄存器 1 (PMCtrl1, 0x2878) 配置 M 通道的功能。

与 M 通道信号测量数据输出相关的寄存器有 3 个，分别是：M 通道原始数据值寄存器 (DATAOM, 0x20CE)、M 通道直流数据值寄存器 (DATADM, 0x20CF) 和 M 通道直流秒平均数据值寄存器 (DATAADM, 0x20D0)。

在 50Hz 电网应用下，当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时：

1. 寄存器 DATAOM 的刷新时间为 0.3ms，收敛时间为 10ms；
2. 寄存器 DATADM 的刷新时间为 20ms，收敛时间为 70ms；
3. 寄存器 DATAADM 的刷新时间为 1.28s，收敛时间为 3s。

## 11.17.2 测量温度

M 通道可用于测量芯片内部温度，测量范围为-40~+85°C，典型测量误差为±1°C。

温度测量操作步骤如下：

1. 使能 M 通道 ADC: ADCMPDN=1 (bit3, CtrlADC6, 0x2864)。开启 M 通道 ADC 前必须保证 BandGap 电路开启；
2. 在寄存器 CtrlADC5 (0x2863) 中做如下配置：
  - 保证 M 通道内部电阻分压电路关闭: RESDIV=0 (bit4)；
  - 将 M 通道功能配置为测量温度: MEAS<2:0>=001 (bit[2:0])；
3. 禁止 M 通道 ADC 的去直流失调功能: MADCHOPN=1 (bit0, CtrlIM, 0x2865)；
4. 保证采样电路和功率/有效值计算电路正常工作: GT=0 (bit0, IDET, 0x2886)；
5. 在寄存器 PMCtrl1 (0x2878) 中配置 M 通道数字信号处理：
  - 使能 M 通道数字信号输入: ONM=1 (bit3)；
  - 使能计量 VMA 进行数字信号处理: PREN=1 (bit4)。
6. 延时 70ms( $f_{MTCLK}=3.2768\text{MHz}$ )或 280ms( $f_{MTCLK}=819.2\text{kHz}$ )之后,从 M 通道直流数据值寄存器(DATADM, 0x20CF) 中读取数据后根据公式 11-3 计算每个温度测量点的理论温度 (T', 单位为°C)。

$$T' = \frac{B \times (D \times \frac{x_0}{2^{16}} + C)^{\frac{1}{2}} - A}{E} \quad \text{公式 11-3}$$

其中,  $x_0$  为寄存器 DATADM (0x20CF) 的读数 (十六进制); A/B/C/D/E 均是温度曲线的参数, 用户可在 Info 区的 0x420~0x433 读取 (以小端模式存储), 另外还有两个字节检验。。

7. 校正温度:
  - 每颗芯片的实际温度与根据公式 11-4 计算得到的理论温度之间存在一个常温偏差 ( $\Delta T$ , 常数):

$$\Delta T = \frac{x_1}{10} \quad \text{公式 11-4}$$

其中,  $x_1$  为 Info 区的 0x480~0x481 (另还有两个字节校验) 的读数 (十六进制, 大端模式存储), 是实际常温偏差值的 10 倍。  $\Delta T$  的单位为 0.1°C。

- 根据以下公式计算得到每个测量点的芯片实际温度 (T):

$$T = T' + \Delta T \quad \text{公式 11-5}$$

## 11.17.3 电池电压和外部信号测量

在 V99XX 中, 引脚 BAT 可被用于电池电压或其它外部直流电压信号测量的输入, 其允许输入的待测电压信号 (V) 的范围为-200mV~3.8V; UM/M0/M1/M2 引脚一般只被用于外部直流电压信号测量的输入, 其允许输入的待测电压信号 (V) 的范围为-200mV~3.4V。

测量电池电压或其它外部直流电压信号的步骤如下:

1. 使能 M 通道 ADC: ADCMPDN=1 (bit3, CtrlADC6, 0x2864)。开启 M 通道 ADC 前必须保证 BandGap 电路开启；
2. 在寄存器 CtrlADC5 (0x2863) 中做如下配置：
  - 配置并控制内部电阻分压电路：

- 当  $-0.2V \leq V \leq 3.8V$  (BAT) 或者  $3.4V$  (UM/M0/M1/M2) 时, 用户须将 RESDIV 位置 1;
  - 配置 MEAS<2:0> (bit[2:0]) 使 M 通道用于测电池电压信号或其它外部直流电压信号;
- 3. 禁止 M 通道 ADC 的去直流失调功能: MADCHOPN=1 (bit0, CtrlM, 0x2865);
- 4. 保证采样电路和功率/有效值计算电路正常工作: GT=0 (bit0, IDET, 0x2886);
- 5. 在寄存器 PMCtrl1 (0x2878) 中配置 M 通道数字信号处理:
  - 使能 M 通道数字信号输入: ONM=1 (bit3);
  - 使能计量 VMA 进行数字信号处理: PREN=1 (bit4)。
- 6. 延时 10ms ( $f_{MCLK}=3.2768MHz$ ) 或 40ms ( $f_{MCLK}=819.2kHz$ ) 之后, 从 M 通道原始数据值寄存器 (DATAOM, 0x20CE) 中读取数据后根据输入信号的大小以及 RESDIV 的配置, 计算直流信号的幅度  $V_{DC}$ , 单位为 mV:
  - 当 RESDIV=1 时,

$$V_{DC} = \frac{\frac{x_R}{2^{16}} + 50.693}{5959.9} \quad \text{公式 11-6}$$

因为电阻分压电路上有 30kΩ 电阻, 所以, 该电路会产生功耗:

$$P = U_D \times I_D = V \times \frac{V}{R1 + R2} = \frac{V^2}{30} \quad \text{公式 11-7}$$

其中,  $x_R$  为 M 通道寄存器 DATAOM (0x20CE) 读数 (十六进制)。

## 11.18 波形缓存

可以将原始波形进行缓存, 得到一个周期或两个周期的电流或电压原始波形数据。波形数据格式为 16 位, 1 位符号位。数据存储在 0x4000~0x407F, 共 128 字节, 两个字节为一个采样点, 高位字节在高位地址, 共存储 64 个点数据。缓存长度类型配置, 决定存储一个周期波形或 2 个周期波形数据。程序可以直接读取, 无需经过计量缓存。

表 11-39 波形缓存控制寄存器 (SignalBuffCtrl, 0x4200)

0x4200, R/W, 波形缓存控制寄存器, SignalBuffCtrl			
位		默认值	功能说明
Bit7	STXDONE	0	完成标志位。
Bit[6:4]	保留	-	-
Bit[3:2]	STXSEL	0	通道选择。 01: 电流 A; 10: 电流 B; 00/11: 电压。
Bit1	STXLEN	0	缓存长度类型。 0: 1 个周期 32 点, 保存两个周期的数据。 1: 1 个周期 64 点, 保存 1 个周期的数据。

0x4200, R/W, 波形缓存控制寄存器, SignalBuffCtrl

位		默认值	功能说明
Bit0	STXEN	0	使能位。 0: 禁止; 1: 使能。

操作步骤:

1. 程序首先设置 STXEN 为 1, 开始波形缓存, 缓存满了后自动停止, 此时 STXDONE 为 1。
2. 程序查询 STXDONE 是否为 1, 如果是 1, 把 STXEN 清零, 则 STXDONE 也会自动变为 0。
3. 程序查询到 STXDONE 为 0 后, 缓存数据不再更新, 读出缓存数据, 地址 0x4000~0x407F。
4. 此次操作结束, 或者再重复步骤 1, 开始新一轮的缓存操作。

## 11.19 计量模块初始化

为了保证计量模块能正常工作, 应根据如下流程对计量模块进行初始化。

1. 访问计量控制寄存器, 向寄存器 PMCtrl4 (0x287D) 的三个控制位 CRPEN (Bit5)、CFEN (Bit4) 和 EGYEN (Bit3) 写入 0, 关闭能量累加、CF 输出以及起动/潜动判断电路; 向 PMCtrl1 (0x2878) 的 PREN (Bit4) 和 Onx (Bit3~Bit0) 写入 0, 关闭计量通道, 并停止功率/有效值计算;
2. 访问模拟控制寄存器, 配置并开启 ADC;
3. 当 ADC 采样频率 ( $f_{ADC}$ ) 为 819.2kHz 时, 在寄存器 PARABPF (0x20EF) 中写入 0x889374BC; 当 ADC 采样频率 ( $f_{ADC}$ ) 为 204.8kHz 时, 在寄存器 PARABPF (0x20EF) 中写入 0x911D3C9C;
4. 向 PMCtrl1 (0x2878) 的 PREN (Bit4) 写入 1, 开启功率/有效值计算;
5. 等待 70ms ( $f_{ADC}=819.2\text{kHz}$ ) 或 250ms ( $f_{ADC}=204.8\text{kHz}$ ), 待电压/电流信号波形 (原始值、直流值和交流值) 寄存器均为 0 后, 先将读写缓存寄存器 (0x2880~0x2885) 清零, 再向寄存器 0x2059~0x206A 写入 0;
6. 配置校表参数寄存器 (功率/有效值比差寄存器、功率二次补偿值寄存器、E1/E2 脉冲门限值寄存器、E1/E2 能量起动/潜动判断门限值寄存器);
7. 访问计量控制寄存器, 进行如下配置:
  - 选择电流通道: 配置 SELI 位 (bit5, PMCtrl1, 0x2878);
  - 角差校正: 配置 PHCEN 位 (PMCtrl1, 0x2878, Bit6) 使能角差校正, 然后, 通过 PHCCtrl1 (0x287B)、PHCCtrl2 (0x287C) 以及 IBPHC 和 IAPHC (bit[3:0], CRPST, 0x287F) 设置角差校正值的绝对值;
  - 数字增益设置;
  - 是否两路电流进行有功计量: 配置 DBLEN 位 (Bit4, PMCtrl3, 0x287A);
  - 是否使用低通滤波器和带通滤波器: 配置 LPFEN 位和 BPFEN (Bit5 和 Bit6, PMCtrl3, 0x287A);
  - 选择正向有功计量类型: 配置 PSEL1 位和 PSEL0 位 (Bit1 和 Bit0, PMCtrl4, 0x287D);
  - CF 输出类型: 配置寄存器 CFCtrl (0x287E) 选择 CF 输出类型;

- 使能起动/潜动判断：向寄存器 PMCtrl4 (0x287D) 的 bit6/bit7 位写入 1。
8. 访问计量控制寄存器，向 PMCtrl1 (0x2878) 的 Onx (Bit3~Bit0) 写入 1，开启计量通道；
  9. 等待 250ms ( $f_{ADC}=819.2\text{kHz}$ ) 或 900ms ( $f_{ADC}=204.8\text{kHz}$ )；
  10. 向能量累加寄存器和 CF 脉冲计数器写入所保存的上一次的残留值。如果残留值是 0，则等效为清空能量累加寄存器和 CF 脉冲计数器。
  11. 对能量脉冲门限值寄存器和起动/潜动判断门限值寄存器进行读操作，判断是否为正常值。如果不正常，则需要对其重新进行配置；
  12. 配置开启 CF 中断等操作（可选）；
  13. 访问计量控制寄存器，向寄存器 PMCtrl4 (0x287D) 的三个控制位 CRPEN (Bit5)、CFEN (Bit4) 和 EGYEN (Bit3) 写入 1，使能量累加、CF 脉冲输出和起动/潜动判断。

## 11.20 校表

与校表相关的计量数据寄存器如下表所示。

表 11-40 校表相关计量数据寄存器

地址	寄存器	功能说明	长度 (bit)	数据格式
0x20F4	GATEP	设置 E1 能量脉冲门限值	32	无符号数
0x20F5	GATECP	设置 E1 能量起动/潜动判断门限值	32	无符号数
0x20FA	GATEQ	设置 E2 能量脉冲门限值	32	无符号数
0x20FB	GATECQ	设置 E2 能量起动/潜动判断门限值	32	无符号数
0x20E8	SCP	设置 E1 功率比差校正值	32	二进制补码
0x20E9	SCQ	设置 E2 功率比差校正值	32	二进制补码
0x20EA	SCU	设置电压有效值比差校正值	32	二进制补码
0x20EB	SCI1	设置 I1 电流有效值比差校正值	32	二进制补码
0x20EC	SCI2	设置 I2 电流有效值比差校正值	32	二进制补码
0x20ED	PARAPC	设置 E1 功率二次补偿值	32	二进制补码
0x20EE	PARAQC	设置 E2 功率二次补偿值	32	二进制补码
0x287B	PHCCtrl1	角差校正控制寄存器 1	8	
0x287C	PHCCtrl2	角差校正控制寄存器 2	8	
0x287F	CRPST	bit[3:2]和 bit[1:0]分别作为低 2 位与 PHCB<5:0>和 PHCA<5:0>一起结合使用，用于设置 I2 和 I1 通道角差校正值的绝对值		
0x20D6	DATAP	读取 E1 功率秒平均值	32	二进制补码
0x20D7	DATAQ	读取 E2 功率秒平均值	32	二进制补码
0x20D8	RMSU	读取电压有效值秒平均值	32	二进制补码
0x20D9	RMSI1	读取 I1 电流有效值秒平均值	32	二进制补码
0x20DA	RMSI2	读取 I2 电流有效值秒平均值	32	二进制补码

## 11.20.1 计算公式

### 1. 电压/电流有效值

电压/电流有效值的理论数值与输入信号间的关系如下： $RMS = V \times G \times K$  公式 11-8 其中：

V: 输入信号有效值；

G: 当前增益；

K: 常数,  $K=1.8117 \times 10^9$ 。

例 1: 电压通道的采样信号为 18mV, 增益为 1, 则秒平均电压有效值寄存器的值应该为:

$$RMS=0.018 \times 1 \times 1.8117 \times 10^9=0x1F19927$$

例 2: 电流通道的采样信号为 2.35mV, 增益为 16, 则秒平均 I1 电流有效值寄存器的值应该为:

$$RMS=0.00235 \times 16 \times 1.8117 \times 10^9=0x40F6D70$$

### 2. 有功/无功功率

$$P = Vi \times Gi \times Vv \times Gv \times K \times C \quad \text{公式 11-9}$$

其中:

$V_i$ 、 $V_v$ : 分别为电流和电压通道输入信号大小;

$G_i$ 、 $G_v$ : 分别为电流和电压通道的增益;

K: 系数。当计算有功功率秒平均值时,  $K=1.5413 \times 10^9$ ; 当计算无功功率秒平均值时,  $K=2.4167 \times 10^9$ ;

C: 当公式 11-9 用于有功功率计算时,  $C=\cos\theta$ ; 当公式 11-9 用于无功功率计算时,  $C=\sin\theta$ 。其中  $\theta$  为电流与电压信号之间的相角。

例: 当  $V_v$  为 18mV,  $G_v$  为 1,  $V_i$  为 2.3mV,  $G_i$  为 16,  $\cos\theta$  为 1, 则用于有功计量时, E1/E2 功率秒平均值应为:

$$P = 0.0023 \times 0.018 \times 1 \times 16 \times 1.5413 \times 10^9 \times 1 \\ = 0x9F41D$$

### 3. 能量脉冲门限值寄存器

$$PGAT = \frac{P \times T \times 6400}{1024}$$

公式 11-10 其中,  $P$  为 E1/E2 功率秒平均值, 由公式 11-9 计算得

到;  $T$  为时间常数, 由公式  $T = \frac{3600 \times 1000}{\text{PulseConstant} \times U_n \times I_n}$  计算得到。

### 4. 电流/电压有效值和功率比例系数计算

根据公式 11-8、公式 11-9 计算得的电流/电压有效值和有功功率的数据只是 ADC 采样数据 (计算所得的数据与直接读取相应寄存器所得的数据会有差异, 但是相关不大), 如果要将其转化为直观的有效值或功率数据, 用户应通过以下公式计算得到一个固定的比例系数 (D)。将寄存器的实际读数与该比例系数相乘, 得到显示在 LCD 屏上的有效值或功率数据。

$D = \frac{V_n}{\text{Value}}$  公式 11-11 其中,  $\text{Value}$  为根据公式 11-8、公式 11-9 计算得到的电压/电流有效值或功率的值, 默认有效值或功率为两位小数;  $V_n$  为额定的电压、电流或功率值。

### 5. 有效值/功率比差寄存器

当 PF=1.0 时，有效值/功率比差校正寄存器的值可根据以下公式进行计算：

$$S = 2^{31} \left( \frac{1}{1+e} - 1 \right) + S_1 \left( \frac{1}{1+e} \right) \quad \text{公式 11-12}$$

其中：

S：写入有效值/功率比差校正寄存器的值，补码形式；

S<sub>1</sub>：未校正前有效值/功率比差校正寄存器显示的原始比差值，补码形式；

e：误差。进行功率比差校正时，e 为 PF=1.0 时台体显示的误差值（E）；进行电流/电压有效值校正时，e 为根据公式 11-13 或公式 11-14 计算得到的误差值（E<sub>i</sub> 或 E<sub>u</sub>）。

电流有效值误差：E<sub>i</sub> =  $\frac{I_1 - I_b}{I_b}$ ，电流单位为 mA，或者保持一致公式 11-13

电压有效值误差：E<sub>u</sub> =  $\frac{U_1 - U_n}{U_n}$ ，电压单位为 mV，或者保持一致公式 11-14

其中，I<sub>b</sub> 或 U<sub>n</sub> 为额定电流和电压；I<sub>1</sub> 或 U<sub>1</sub> 为向校表台体通入 100%I<sub>b</sub> 或 100%U<sub>n</sub> 时 LCD 屏上显示的电流或电压有效值。

## 6. 功率二次补偿值寄存器

根据下述公式计算得到功率二次补偿寄存器的值（C）：

$$C = a\% \times E_1 \times P \quad \text{公式 11-15}$$

其中，

E<sub>1</sub>：当 PF=1.0 时向校表台体通 a%I<sub>b</sub> 时台体显示的误差。一般 a=1；

P：E1/E2 功率寄存器的值，由 公式 11-9 计算得到。

## 7. 角差校正

相关寄存器：PHCCtrl1（0x287B）、PHCCtrl2（0x287C）、CRPST（0x287F，bit[3:2]和 bit[1:0]）。

角差校正是为了保证在低功率因数下计量也能保持一定的精度。必须先完成功率比差校正，再校正角差。

当寄存器 PHCCtrl1（0x287B）和寄存器 PHCCtrl2（0x287C）的最高位为 1 时，延时电压；最高位为 0 时，延时电流。

角差校正一般在 PF=0.5L 的时候进行，PF=0.5L 的角差校正值简化计算公式（对计算结果四舍五入取整）

$$N = \text{Round} \left( \frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{\text{smp1}}}{819200} \right) \quad \text{公式 11-16}$$

其中，

N 为写入角差校正寄存器的值，带符号。如果 N 为正值，表示延时电流，所以在符号位写入“0”；如果 N 为负值，表示延时电压，所以在符号位写入“1”；

f<sub>smp1</sub> 的值由 MEACLKSEL<1:0>位（bit[3:2]，CtrlCLK，0x2867）的配置决定，详见“当寄存器 PHCCtrl1（0x287B）和寄存器 PHCCtrl2（0x287C）的最高位为 1 时，延时电压；最高位为 0 时，延时电流。”

角差校正一般在 PF=0.5L 的时候进行，PF=0.5L 的角差校正值简化计算公式（对计算结果四舍五入取整）

$$N = \text{Round} \left( \frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{\text{smp1}}}{819200} \right) \quad \text{公式 11-1}$$

其中，

N 为写入角差校正寄存器的值，带符号。如果 N 为正值，表示延时电流，所以在符号位写入“0”；如果 N 为负值，表示延时电压，所以在符号位写入“1”；

$f_{smpl}$  的值由  $MEACLKSEL<1:0>$  位 (bit[3:2], CtrlCLK, 0x2867) 的配置决定, 详见“错误!书签自引用无效。”, Hz;

E 为台体显示的误差。

表 11-29”, Hz;

E 为台体显示的误差。

## 8. 起动/潜动判断门限值寄存器

一般将潜动条件下的理论出脉冲时间设为起动/潜动判断门限值。起动/潜动判断门限值可根据如下公式计算得到:

$$GATECP = T' \times \frac{1}{2} \times f_{overflow} = \frac{3600 \times 1000}{PulseConstant \times U_n \times \frac{1}{2} I_s} \times \frac{1}{2} \times f_{overflow} \quad \text{公式 11-17 其中:}$$

$U_n$ : 额定电压;

$I_s$ : 起动电流, 一般为  $0.4\%I_b$ 。一般, 起动/潜动判断电流取  $\frac{1}{2} I_s$ ;

$f_{overflow}$ : 能量累加寄存器的累加频率。当  $f_{MCLK}$  为 3.2768MHz 时,  $f_{overflow}=12800\text{Hz}$ ; 当  $f_{MCLK}$  为 32768Hz 时,  $f_{overflow}=2979\text{Hz}$ 。

## 11.20.2 校表方法

### 11.20.2.1 参数设置

设计电表时, 用户应确定以下所有参数, 包括:

1. 表型参数: 包括基本电流 ( $I_b$ )、额定电压 ( $U_n$ )、脉冲常数 (PulseConstant)、精度等级等;
2. 设计参数: 包括通入额定电压和基本电流时, 电压和电流采样信号有效值的大小;
3. 电压和电流通道 ADC 的模拟增益和数字增益倍数;
4. 根据公式 11-11 计算电流/电流有效值和功率寄存器读数与实际值之间的比例系数 (D);
5. 根据公式 11-10 计算能量脉冲门限值, 并将其写入能量脉冲门限值寄存器;
6. 根据公式 11-17 计算起动/潜动判断门限值, 并将其写入起动/潜动判断门限值寄存器。

上述参数在电能表设计时就已经确定, 校表时不应该改变这些参数。

### 11.20.2.2 校正能量

#### 1. 比差校正 (以全波有功功率为例)

当  $PF=1.0$  时, 向校表台通  $100\%I_b$  和  $100\%U_n$ 。

未校正前, 在校表台体上读取有功能量误差 (E), 并读取有功功率比差寄存器的值 (即原始比差值  $S_1$ ), 再按公式 11-12 计算有功功率的比差值, 并将其写入相应的功率比差值寄存器。写入后, 如果校表台体显示的误差值 (E) 在标准规定的范围内, 则表示比差校正成功。

#### 2. 角差校正

完成功率比差校正后, 在  $PF=0.5L$  的情况下, 向校表台体通  $100\%I_b$  和  $100\%U_n$ , 校正角差。

未校正前, 先将角差校正控制寄存器清零。用户可采用公式 11-16 计算角差校正值 (N), 并将计算得到的 N 值写入角差校正控制寄存器 (详见表 11-30): 如果 N 为正值, 符号位写入“0”; 如果 N 为负值, 符号位写入“1”。

#### 3. 功率二次补偿 (可选)

当  $PF=1.0$  时，向校表台体通  $5\%I_b$ （通常，也可通入  $2\%I_b$ ）和  $100\%U_n$ ，读取校表台体显示的误差（E），根据公式 11-17 计算得到二次补偿值，并写入相应的功率二次补偿值寄存器。

### 11.20.2.3 电流有效值比差校正

1. 在通道 I1 的电流有效值比差寄存器（SCI1，地址：0x20EB）中写入 0；
2. 当  $PF=1.0$  时，向校表台体通  $100\%I_b$  电流；
3. 从电表 LCD 读取电流有效值  $I_1$ （ $I_1$  为电流有效值寄存器的读数与电流有效值比例系数 D 的乘积）；
4. 先根据公式 11-13 计算电流有效值的误差  $E_i$ ，再根据公式 11-12 计算比差，并将该值写入 I1 电流有效值比差寄存器。
5. 根据上述方法进行 I2 电流有效值比差校正。

注：当通入电表的电流小于启动电流（ $I_s$ ）时，电表 LCD 屏上不显示电流有效值  $I_1$ 。

### 11.20.2.4 电压有效值比差校正

1. 在电压有效值比差寄存器（SCU，地址：0x20EA）中写入 0；
2. 向校表台体通  $100\%U_n$  电压；
3. 从电表 LCD 读取电压有效值  $U_1$ （ $U_1$  为电压有效值比差寄存器的读数与电压有效值比例系数 D 的乘积）；
4. 先根据公式 11-14 计算电压有效值的误并  $E_u$ ，再根据公式 11-12 计算比差，并将该值写入电压有效值比差寄存器。

## 第12章 模拟比较器

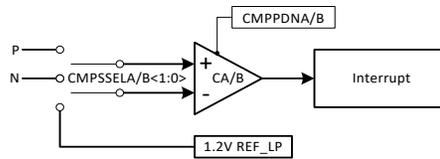


图 12-1 模拟比较器结构图

V9901 内置两路模拟比较器 CA、CB，V9911 内置一路模拟比较器 CB，其结构如图 12-1 所示。比较器 CB 的输入端与 M 通道信号输入（M1 和 M2）和 SEG 输出（SEG38 和 SEG39）复用。当上述引脚用于比较器信号输入时，必须关闭相应引脚的 SEG 输出功能，即将寄存器 SegCtrl4（0x2C23）的 bit7~bit6 清 0。比较器 CA 的输入端无复用。用户也可以选择低功耗的基准电压源（REF\_LP）作为比较器的反向信号源输入。发生 RSTn 输入复位、POR/BOR 或 WDT 溢出复位，或者系统进入深睡眠或浅睡眠状态后，模拟比较器停止工作。

V9901 两个模拟比较器共用一个中断使能位和中断标志位，如果模拟比较器中断被使能，即 IE6=1（bit6，0x28A5），EIE.3=1（bit3，SFR 0xE8），并且 IE.7=1（bit7，SFR 0xA8），当模拟比较器的输出电平发生跳变（高电平到低电平，或低电平到高电平）时，模拟比较器中断标志位 IR6（bit6，0x28A2）即置 1。此时，模拟比较器向 CPU 提起中断。程序响应中断后，用户应该读取相应比较器标志位判断模拟比较器发生了何种输入变化。

表 12-1 模拟比较器相关寄存器

寄存器	位	默认值	功能说明
0x2861 CtrlCry2	bit4	CMPIT	0 模拟比较器偏置电流选择。 0: 20nA; 1: 200nA。
	bit[3:2]	CMPSSSELB<1:0>	0 模拟比较器 CB 的输入信号源选择。 00: 引脚 M2 输入电压（+）和低功耗电压基准源（REF_LP，-）比较； 01: 引脚 M1 输入电压（+）和低功耗电压基准源（REF_LP，-）比较； 10/11: 引脚 M2（+）和 M1（-）输入电压比较。
	bit[1:0]	CMPSSSELA<1:0>	0 模拟比较器 CA 的输入信号源选择。 00: 引脚 CMPAP 输入电压（+）和低功耗电压基准源（REF_LP，-）比较； 01: 引脚 CMPAN 输入电压（+）和低功耗电压基准源（REF_LP，-）比较； 10/11: 引脚 CMPAP（+）和 CMPAN（-）输入电压比较。
0x2864 CtrlADC6	bit5	CMPPDNB	0 开关模拟比较器 CB。 0: 关闭；

寄存器	位		默认值	功能说明
				1: 开启。
	bit4	CMPPDNA	0	开关模拟比较器 CA。 0: 关闭; 1: 开启。
0x286B ANState	bit6	COMPB	0	模拟比较器 CB 的输出状态。只读。 1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号; 0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。
	bit5	COMPA	0	模拟比较器 CA 的输出状态。只读。 1: 表示比较器正输入端信号大于负输入端信号; 0: 表示比较器正输入端信号小于负输入端信号。

## 第13章 中断控制系统

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位、WDT 溢出复位、恢复供电复位、IO/RTC 休眠唤醒复位或调试复位时，中断控制电路寄存器被复位。

中断控制系统由时钟 1（MCU 时钟）提供输入时钟，所以，系统进入浅睡眠或者深睡眠后，中断控制电路寄存器停止工作，进入低功耗状态。用户也可以根据应用需要对各个扩展中断进行单独时钟门控以降低系统功耗。

### 13.1 中断资源

系统提供了 11 个定时器中断（包括：Timer0/1/2 中断，UART2/3/4/5 普通定时器溢出中断，TimerA 的溢出中断和 TimerA 捕获中断 0/1/2）、4 个外部端口中断（端口中断 0/1/2/3）、增强型 UART（EUART）1/2 和普通 UART1/2/3/4/5 的接收/发送中断、EUART1/2 的溢出中断、GPSI 非法写入中断、GPSI 发送完成中断、模拟比较器 A/B 中断、RTC 秒中断和非法数据中断、2 个 CF 脉冲中断、掉电中断、过零点中断、REF 漏电中断、RTC 电池恢复供电中断、主电源低于 2.8V 中断等。

下表为所有中断资源列表。每个中断均有固定的硬件查询顺序，根据该硬件查询序号，所有中断可简称为中断向量 X（如向量地址为 43h 的扩展中断可简称为“中断向量 8”）。

对于扩展中断——中断向量 8、9、10 和 11 而言，中断响应程序应该先清除扩展中断标志位，再清除中断向量 8、9、10 和 11 对应的内核中断标志位。对于位于同一个中断向量中的扩展中断源，用户可以采用查询方式或者中断方式响应中断事件。在进入中断服务程序后，用户需要对中断标志位和中断使能位进行“与”操作，从而判断中断源。

表 13-1 中断资源列表

硬件查询顺序	向量	中断号 <sup>1</sup>	说明	内核 En	扩展 En	内核 Flag	扩展 Flag
0（最高）	33h	6	保留				
1	03h	0	端口中断 0（INT0），低电平/下降沿触发	IE.0		TCON.1	
2	0Bh	1	Timer 0 中断（TF0）	IE.1		TCON.5	
3	13h	2	端口中断 1（INT1），低电平/下降沿触发	IE.2		TCON.3	
4	1Bh	3	Timer 1 中断（TF1）	IE.3		TCON.7	
5	23h	4	保留				

<sup>1</sup>该中断号适用于 Keil IDE。

硬件查询顺序	向量	中断号 <sup>1</sup>	说明	内核 En	扩展 En	内核 Flag	扩展 Flag
6	2Bh	5	Timer 2 中断 (TF2, EXF2)	IE.5		T2CON.7	
7	3Bh	7	UART 1 接收中断 (RI1)	IE.6		SCON1.0	
			UART 1 发送中断 (TI1)			SCON1.1	
8	43h	8	UART2 发送中断	EIE.0	ExInt2IE.0	EXIF.4	ExInt2IFG.0
			UART2 接收中断		ExInt2IE.1		ExInt2IFG.1
			UART4 发送中断		ExInt2IE.2		ExInt2IFG.2
			UART4 接收中断		ExInt2IE.3		ExInt2IFG.3
			UART2 中普通定时器溢出中断		ExInt2IE.4		ExInt2IFG.4
			UART4 中普通定时器溢出中断		ExInt2IE.5		ExInt2IFG.5
			保留				
			CF1 中断		ExInt2IE.7		ExInt2IFG.7
9	4Bh	9	UART3 发送中断	EIE.1	ExInt3IE.0	EXIF.5	ExInt3IFG.0
			UART3 接收中断		ExInt3IE.1		ExInt3IFG.1
			UART5 发送中断		ExInt3IE.2		ExInt3IFG.2
			UART5 接收中断		ExInt3IE.3		ExInt3IFG.3
			UART3 中普通定时器溢出中断		ExInt3IE.4		ExInt3IFG.4
			UART5 中普通定时器溢出中断		ExInt3IE.5		ExInt3IFG.5
			RTC 秒中断		ExInt3IE.6		ExInt3IFG.6
			CF2 中断		ExInt3IE.7		ExInt3IFG.7
10	53h	10	RTC 非法数据中断	EIE.2	ExInt4IE.0	EXIF.6	ExInt4IFG.0
			增强型 UART1 (EUART1) 接收/发送/溢出中断 RIF/SIF/OVIF (0x2A04)		RCIE SDIE ExInt4IE.1		ExInt4IFG.1

硬件查询顺序	向量	中断号 <sup>1</sup>	说明	内核 En	扩展 En	内核 Flag	扩展 Flag
			端口中断 2 (INT2), 下降沿触发		ExInt4IE.2		ExInt4IFG.2
			端口中断 3 (INT3), 下降沿触发		ExInt4IE.3		ExInt4IFG.3
			REF 漏电中断		ExInt4IE.4		ExInt4IFG.4
			过零点中断		XOEN ExInt4IE.5		ExInt4IFG.5
			增强型 UART2 (EUART2) 接收/发送/溢出中断 RIF/SIF/OVIF (0x2B04)		RCIE SDIE ExInt4IE.6		ExInt4IFG.6
			RTC 电池恢复供电中断, 上升沿触发 (0x286B 的 BIT3)		ExInt4IE.7		ExInt4IFG.7
11	5Bh	11	TimerA 溢出中断	EIE.3	ExInt5IE.0	EXIF.7	ExInt5IFG.0
			TimerA 捕获中断 0		ExInt5IE.1		ExInt5IFG.1
			TimerA 捕获中断 1		ExInt5IE.2		ExInt5IFG.2
			TimerA 捕获中断 2		ExInt5IE.3		ExInt5IFG.3
			GPSI 非法写入中断		EXInt5IE.4		ExInt5IFG.4
			GPSI 发送完成中断		ExInt5IE.5		ExInt5IFG.5
			模拟比较器中断		ExInt5IE.6		ExInt5IFG.6
			主电源低于 2.8V 中断 (0x286B 的 BIT2)		ExInt5IE.7		ExInt5IFG.7
12 (最低)	63h	12	掉电中断	EIE.4		EICON.3	

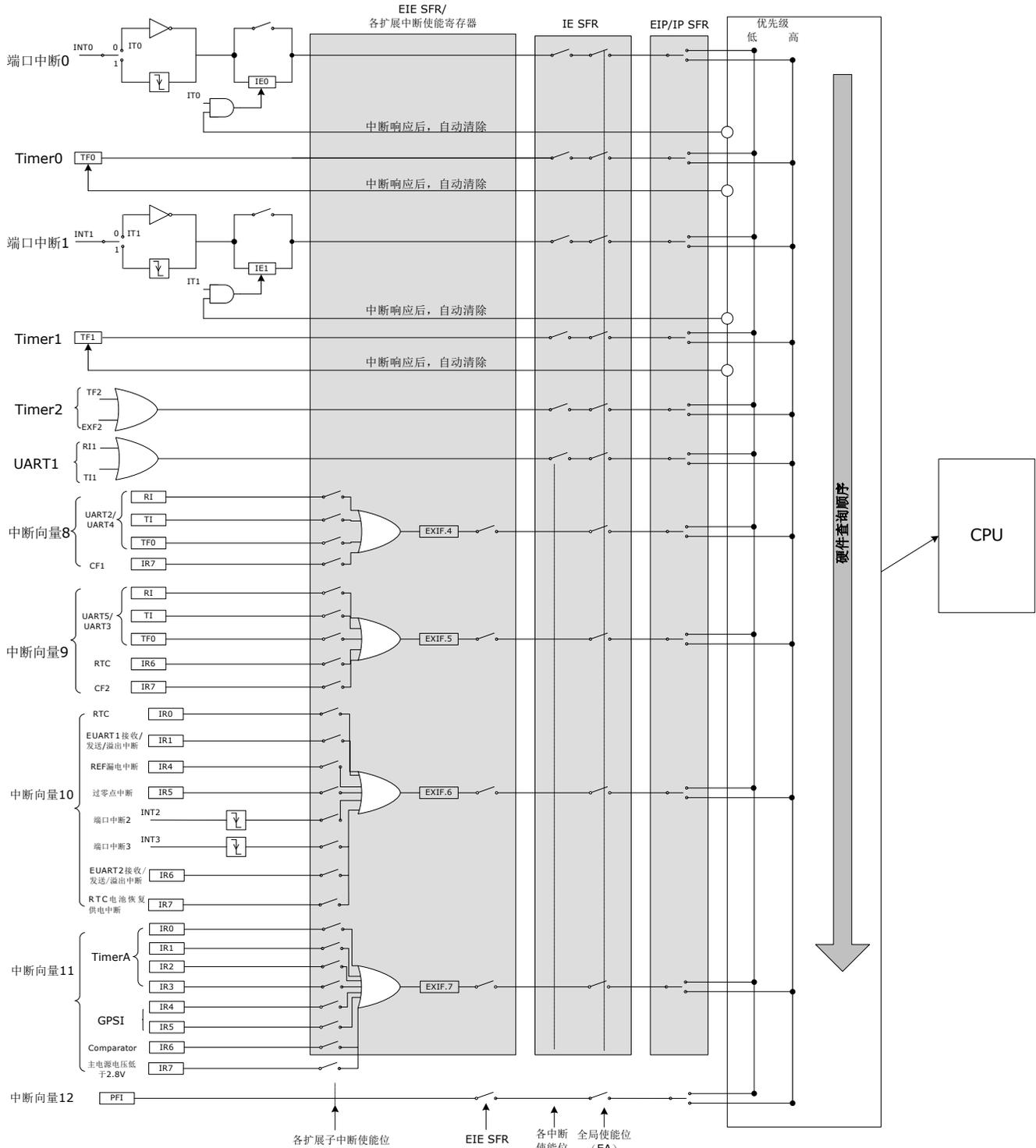


图 13-1 中断控制系统

## 13.2 中断级别

标准 8051 提供两个级别的中断优先级：中断级别 1 和中断级别 0。所有中断的优先级可通过 IP SFR 和 EIP SFR 进行设置。中断级别 1 高于中断级别 0。所有的中断都可以被赋予高优先级或者低优先级。一个中断服务程序只能被另外一个拥有更高优先级的中断所打断。也就是说，中断级别 0 的中断服务程序的执行只能被中断级别 1 的中断打断。一旦某个中断得到了响应，那么它的中断服务程序就只能被更高优先级的中断所打断。

除了被赋予的优先级（中断级别 1 或者中断级别 0）之外，每一个中断都有硬件查询顺序（硬件查询顺序号越小，表明该中断的查询优先级越高）。有着相同优先级（如中断级别 1 或中断级别 0）的中断同时发生时，根据它们相应的硬件查询顺序来决定先响应哪个中断。

## 13.3 中断处理

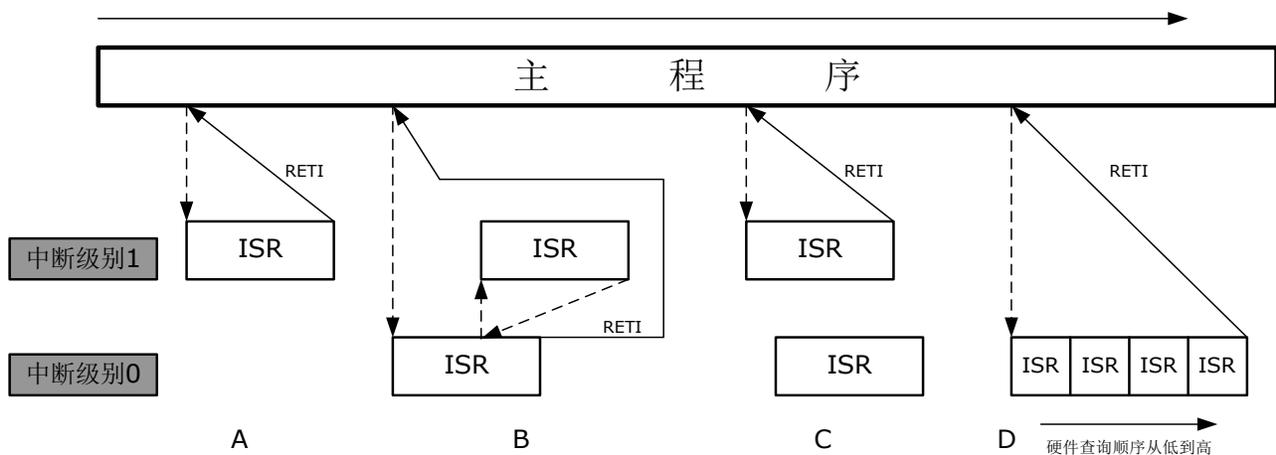


图 13-2 中断处理

上图描述了 V99XX 的中断处理过程。在处理中断时，

- 当一个被使能的中断发生时，CPU 就会跳转到与这个中断相对应的中断向量地址，执行中断服务程序（Interrupt Service Routine, ISR）。只要不发生更高优先级的中断，CPU 会执行中断服务程序直到执行结束为止。每一个中断服务程序都以一个 RETI 指令（从中断返回）结束，如图中 A 所示。
- 在执行了 RETI 指令后，CPU 会返回到中断发生前将要被执行的那一条指令继续执行。在执行中断服务程序以前，CPU 都会执行完当前正在执行的指令。如果正在执行的指令是 RETI，或者是对寄存器 IP SFR、IE SFR、EIP SFR 和 EIE SFR 进行写操作的指令，那么 CPU 在执行完当前正在执行的指令后，会再多执行一条指令，然后才执行中断服务程序。
- 中断级别 1 的优先级高于中断级别 0，所以，中断级别 0 的 ISR 只能被中断级别 1 的 ISR 打断，如图中 B 和 C 所示。当中断级别 0 的 ISR 的执行被中断级别 1 的 ISR 打断后，待执行完中断级别 1 的 ISR 后，CPU 会返回被打断的中断级别 0 的 ISR 继续执行，至 RETI 指令结束，如图中 B 所示。
- 有着相同级别的中断同时发生时，根据它们相应的硬件查询顺序来决定先响应哪个中断（硬件查询顺序号越小，表明该中断的查询优先级越高），如图中 D 所示。
- 中断的响应时间由 CPU 的当前状态决定：
  - ✓ 最快的响应时间是五个指令周期：一个指令周期用来检测中断；四个用来执行 LCALL 指令，调用 ISR 中断服务程序；

- ✓ 最大延时（13 个指令周期）发生在 CPU 正在执行 RETI 指令并且后面又紧跟着 MUL 或者 DIV 指令的时候，这 13 个指令周期分别是：一个指令周期用来检测中断；三个指令周期用来完成 RETI 指令；五个指令周期用来执行 MUL 或者 DIV 指令；四个指令周期用来执行调用 ISR 的 LCALL 指令。在这种情况下，最大的响应时间是  $13 \times 4 = 52$  个时钟周期。
- 为了保证能够检测到边沿触发方式的中断，如端口中断 0/1/2/3，相应的中断信号输入端口应该保持 4 个时钟周期的高电平，然后，保持 4 个时钟周期的低电平。如果某一电平触发方式的中断发生时因标志位未置位或一个更高优先级的中断正在处理而无法进入中断服务程序，则，该中断输入信号一直保持有效，直至进入中断服务程序。

## 13.4 中断控制 SFR

在 V99XX 中，与中断控制相关的 SFR 包括：IE SFR（中断允许寄存器）、IP SFR（中断优先级寄存器）、EXIF SFR（扩展中断触发方式选择寄存器）、EICON SFR（扩展特殊寄存器）、EIE SFR（扩展中断允许寄存器）以及 EIP SFR（扩展中断优先级寄存器），它们分别为中断控制电路提供了中断使能、优先级控制和标志位等信息。对上述 SFR 的解释如下。

表 13-2 IE SFR（SFR 0xA8）

位	功能
IE.7	EA - 全局中断使能位。EA = 0，禁止所有中断。EA = 1，每一个中断的使能或者屏蔽由这些中断各自的使能位决定。
IE.6	ES1 - UART1 中断使能位。ES1 = 0，禁止 UART1 中断（TI1 和 RI1）。ES1 = 1，使能由 TI1 和 RI1 标志位产生的中断。
IE.5	ET2 - Timer2 中断使能位。ET2 = 0，禁止 Timer2 中断（TF2 或 EXF2）。ET2 = 1，使能由 TF2 或者 EXF2 标志位产生的中断。
IE.4	ES0 - 保留
IE.3	ET1 - Timer1 中断使能位。ET1 = 0，禁止 Timer1 中断（TF1）。ET1 = 1，使能由 TF1 标志位产生的中断。
IE.2	EX1 - 端口中断 1 使能位。EX1 = 0，禁止端口中断 1。EX1 = 1，使能由端口中断 1 产生的中断。
IE.1	ET0 - Timer0 中断使能位。ET0 = 0，禁止 Timer0 中断（TF0）。ET0 = 1，使能由 TF0 标志位产生的中断。
IE.0	EX0 - 端口中断 0 使能位。EX0 = 0，禁止端口中断 0。EX0 = 1，使能由端口中断 0 产生的中断。

表 13-3 IP SFR（SFR 0xB8）

位	功能
IP.7	保留。读出值为 1。
IP.6	PS1 - UART1 中断（RI1 或 TI1）优先级控制位。PS1 = 0，中断级别 0。PS1 = 1，中断级别 1。
IP.5	PT2 - Timer2 中断（TF2 或 EXF2）优先级控制位。PT2 = 0，中断级别 0。PT2 = 1，中断级别 1。
IP.4	PS0 - 保留。
IP.3	PT1 - Timer1 中断（TF1）优先级控制位。PT1 = 0，中断级别 0。PT1 = 1，中断级别 1。
IP.2	PX1 - 端口中断 1 优先级控制位。PX1 = 0，中断级别 0。PX1 = 1，中断级别 1。

位	功能
IP.1	PT0 - Timer0 中断 (TF0) 优先级控制位。PT0 = 0, 中断级别 0。PT0 = 1, 中断级别 1。
IP.0	PX0 - 端口中断 0 优先级控制位。PX0 = 0, 中断级别 0。PX0 = 1, 中断级别 1。

表 13-4 EIE SFR (SFR 0xE8)

位	功能
EIE.7 ~ 5	保留。读出值为 1。
EIE.4	中断向量 12 (掉电中断) 使能位。0, 禁止; 1, 使能。
EIE.3	中断向量 11 使能位。0, 禁止; 1, 使能。
EIE.2	中断向量 10 使能位。0, 禁止; 1, 使能。
EIE.1	中断向量 9 使能位。0, 禁止; 1, 使能。
EIE.0	中断向量 8 使能位。0, 禁止; 1, 使能。

表 13-5 EIP SFR (SFR 0xF8)

位	功能
EIP.7 ~ 5	保留。读出值为 1。
EIP.4	中断向量 12 优先级控制位。0, 中断级别 0; 1, 中断级别 1。
EIP.3	中断向量 11 优先级控制位。0, 中断级别 0; 1, 中断级别 1。
EIP.2	中断向量 10 优先级控制位。0, 中断级别 0; 1, 中断级别 1。
EIP.1	中断向量 9 优先级控制位。0, 中断级别 0; 1, 中断级别 1。
EIP.0	中断向量 8 优先级控制位。0, 中断级别 0; 1, 中断级别 1。

表 13-6 EXIF SFR (SFR 0x91)

位	功能
EXIF.7	IE5 - 中断向量 11 标志位。IE5 置 1, 表示中断向量 11 产生了中断。IE5 必须由软件进行清 0。在中断向量 11 被使能的情况下, 使用软件将 IE5 置 1 也会产生中断。
EXIF.6	IE4 - 中断向量 10 标志位。IE4 置 1, 表示中断向量 10 产生了中断。IE4 必须由软件进行清 0。在中断向量 10 被使能的情况下, 使用软件将 IE4 置 1 也会产生中断。
EXIF.5	IE3 - 中断向量 9 标志位。IE3 置 1, 表示中断向量 9 产生了中断。IE3 必须由软件进行清 0。在中断向量 9 被使能的情况下, 使用软件将 IE3 置 1 也会产生中断。
EXIF.4	IE2 - 中断向量 8 标志位。IE2 置 1, 表示中断向量 8 发生了中断。IE2 必须由软件进行清 0。在中断向量 8 被使能的情况下, 使用软件将 IE2 置 1 也会产生中断。
EXIF.3	保留。读出值为 1。
EXIF.2 ~ 0	保留。读出值为 0。

表 13-7 EICON SFR (SFR 0xD8)

位	功能
EICON.7	SMOD1 - UART1 波特率加倍使能位。当 SMOD1 = 1 的时候, UART1 的波特率加倍。
EICON.6	保留。读出值为 1。
EICON.5	保留。
EICON.4	保留。
EICON.3	PFI - 中断向量 12 标志位, 掉电中断。1, 表示发生掉电中断。在退出中断服务程序之前, 必须由软件将此位清 0。否则, 中断会再次发生。在掉电中断被使能的情况, 用软件设置此位也会产生掉电中断。
EICON.2 ~ 0	保留。读出值为 0。

## 13.5 中断扩展

### 13.5.1 中断向量 8

中断向量 8 被扩展为 7 个中断源, 有 5 个寄存器与此相关。在 V99XX 中, 用户可通过配置 ExInt2 位 (bit0, PRCtrl1, 0x2D01) 使中断向量 8 停止工作。

表 13-8 中断向量 8 中断源

中断向量 8			中断源	使能位	中断源标记 (R/W)
向量地址	使能	标记 (R/W)			
43h	IE.7=1 EIE.0=1	IE2 (EXIF.4)	UART2 发送中断	ExInt2IE.0	ExInt2IFG.0
			UART2 接收中断	ExInt2IE.1	ExInt2IFG.1
			UART4 发送中断	ExInt2IE.2	ExInt2IFG.2
			UART4 接收中断	ExInt2IE.3	ExInt2IFG.3
			UART2 普通定时器溢出中断	ExInt2IE.4	ExInt2IFG.4
			UART4 普通定时器溢出中断	ExInt2IE.5	ExInt2IFG.5
			CF1 中断	ExInt2IE.7	ExInt2IFG.7

表 13-9 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt2IFG, 0x2840)

0x2840, R/W, 中断标志 (请求) 寄存器, ExInt2IFG								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IR7	-	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
默认值	0	X	0	0	0	0	0	0

1, 有中断请求; 0, 无中断请求; X, 不关心。

软件在任何时刻都可以访问 ExInt2IFG, 但, 在中断未使能的情况下, 软件写入的扩展中断标志不能提起中断, 只有在中断被使能时, 在这个寄存器中写入 1, 触发软件中断。写入 0 清除中断标志。

表 13-10 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt2IN, 0x2841)

0x2841, R/W, 扩展中断输入类型寄存器, ExInt2IN								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	EDG7I	-	EDG5I	EDG4I	EDG3I	EDG2I	EDG1I	EDG0I
默认值	1	X	1	1	1	1	1	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-11 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt2OUT, 0x2842)

0x2842, R/W, 扩展中断输出类型寄存器, ExInt2OUT								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	-	-	EDGO
默认值	-	-	-	-	-	-	-	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-12 扩展中断使能寄存器 (ExInt2IE, 0x2843)

0x2843, R/W, 扩展中断使能寄存器, ExInt2IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IE7	-	IE5	IE4	IE3	IE2	IE1	IE0
默认值	0	X	0	0	0	0	0	0

1, 使能; 0, 屏蔽; X, 不关心。

表 13-13 扩展中断队列寄存器 (ExInt2OV, 0x2844)

0x2844, R/W, 扩展中断队列寄存器, ExInt2OV								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IPND7	-	IPND5	IPND4	IPND3	IPND2	IPND1	IPND0
默认值	0	X	0	0	0	0	0	0

在 ExInt2IFG 中的标志 (请求) 还没有被软件清除的时候, 如果又发生了同一个中断, 则 ExInt2OV 中相应的位会置 1。这个位只是一个标记, 不会对中断造成任何影响, 需要软件清除。

## 13.5.2 中断向量 9

中断向量 9 被扩展为 8 个中断源, 有 5 个寄存器与此相关。在 V99XX 中, 用户可通过配置 ExInt3 位 (bit1, PRCtrl1, 0x2D01) 使中断向量 9 停止工作。

表 13-14 中断向量 9 的中断源

中断向量 9			中断源	使能位	中断源标记 (R/W)
向量地址	使能	标记 (R/W)			

中断向量 9			中断源	使能位	中断源标记 (R/W)
向量地址	使能	标记 (R/W)			
4Bh	IE.7=1 EIE.1=1	IE3 (EXIF.5)	UART3 发送中断	ExInt3IE.0	ExInt3IFG.0
			UART3 接收中断	ExInt3IE.1	ExInt3IFG.1
			UART5 发送中断	ExInt3IE.2	ExInt3IFG.2
			UART5 接收中断	ExInt3IE.3	ExInt3IFG.3
			UART3 普通定时器溢出中断	ExInt3IE.4	ExInt3IFG.4
			UART5 普通定时器溢出中断	ExInt3IE.5	ExInt3IFG.5
			RTC 秒中断	ExInt3IE.6	ExInt3IFG.6
			CF2 中断	ExInt3IE.7	ExInt3IFG.7

表 13-15 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt3IFG, 0x2848)

0x2848, R/W, 中断标志 (请求) 寄存器, ExInt3IFG								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IR7	IR6	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 有中断请求; 0, 无中断请求; X, 不关心。

软件在任何时刻都可以访问 ExInt3IFG, 但, 在中断未使能的情况下, 软件写入的扩展中断标志不能提起中断, 只有在中断被使能时, 在这个寄存器中写入 1, 触发软件中断。

写入 0 清除中断标志。

表 13-16 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt3IN, 0x2849)

0x2849, R/W, 扩展中断输入类型寄存器, ExInt3IN								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	EDG7I	EDG6I	EDG5I	EDG4I	EDG3I	EDG2I	EDG1I	EDG0I
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-17 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt3OUT, 0x284A)

0x284A, R/W, 扩展中断输出类型寄存器, ExInt3OUT								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	-	-	EDGO
默认值	-	-	-	-	-	-	-	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-18 扩展中断使能寄存器 (ExInt3IE, 0x284B)

0x284B, R/W, 扩展中断使能寄存器, ExInt3IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IE7	IE6	IE5	IE4	IE3	IE2	IE1	IE0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 使能; 0, 屏蔽; X, 不关心。

表 13-19 扩展中断队列寄存器 (ExInt3OV, 0x284C)

0x284C, R/W, 扩展中断队列寄存器, ExInt3OV								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IPND7	IPND6	IPND5	IPND4	IPND3	IPND2	IPND1	IPND0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

在 ExInt3IFG 中的标志 (请求) 还没有被软件清除的时候, 如果又发生了同一个中断, 则 ExInt3OV 中相应的位会置 1。这个位只是一个标记, 不会对中断造成任何影响, 需要软件清除。

### 13.5.3 中断向量 10

中断向量 10 被扩展为 7 个中断源, 有 5 个寄存器与此相关。在 V99XX 中, 用户可通过配置 ExInt4 位 (bit2, PRCtrl1, 0x2D01) 使中断向量 10 停止工作。

表 13-20 中断向量 10 中断源

中断向量 10			中断源	使能位	中断源标记 (R/W)
向量地址	使能	标记 (R/W)			
53h	IE.7=1 EIE.2=1	IE4 (EXIF.6)	RTC 非法数据中断	ExInt4IE.0	ExInt4IFG.0
			增强型 UART1 (EUART1) 的接收/发送/溢出中断	ExInt4IE.1	ExInt4IFG.1
			端口中断 2 (INT2) 下降沿触发	ExInt4IE.2	ExInt4IFG.2
			端口中断 3 (INT3) 下降沿触发	ExInt4IE.3	ExInt4IFG.3
			REF 漏电中断	ExInt4IE.4	ExInt4IFG.4
			过零点中断	ExInt4IE.5	ExInt4IFG.5
			增强型 UART2 (EUART2) 的接收/发送/溢出中断	ExInt4IE.6	ExInt4IFG.6
			RTC 电池恢复供电中断, 上升沿触发 (0x286B 的 BIT3)	ExInt4IE.7	ExInt4IFG.7

表 13-21 中断标志（请求）寄存器（ExInt4IFG, 0x2850）

0x2850, R/W, 中断标志（请求）寄存器, ExInt4IFG								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IR6	IR6	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 有中断请求; 0, 无中断请求; X, 不关心。

软件在任何时刻都可以访问 ExInt4IFG, 但在中断未使能的情况下, 软件写入的扩展中断标志不能提起中断, 只有在中断被使能时, 在这个寄存器中写入 1, 触发软件中断。

写入 0 清除中断标志。

表 13-22 扩展中断输入类型寄存器（ExInt4IN, 0x2851）

0x2851, R/W, 扩展中断输入类型寄存器, ExInt4IN								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	EDG6I	EDG6I	EDG5I	EDG4I	EDG3I	EDG2I	EDG1I	EDG0I
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-23 扩展中断输出类型寄存器（ExInt4OUT, 0x2852）

0x2852, R/W, 扩展中断输出类型寄存器, ExInt4OUT								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	-	-	EDGO
默认值	-	-	-	-	-	-	-	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-24 扩展中断使能寄存器（ExInt4IE, 0x2853）

0x2853, R/W, 扩展中断使能寄存器, ExInt4IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IE7	IE6	IE5	IE4	IE3	IE2	IE1	IE0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 使能; 0, 屏蔽; X, 不关心。

表 13-25 扩展中断队列寄存器（ExInt4OV, 0x2854）

0x2854, R/W, 扩展中断队列寄存器, ExInt4OV								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IPND7	IPND6	IPND5	IPND4	IPND3	IPND2	IPND1	IPND0

0x2854, R/W, 扩展中断队列寄存器, ExInt4OV

默认值	0	0	0	0	0	0	0	0
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

在 ExInt4IFG 中的标志（请求）还没有被软件清除的时候，如果又发生了同一个中断，则 ExInt4OV 中相应的位会置 1。这个位只是一个标记，不会对中断造成任何影响，需要软件清除。

### 13.5.4 中断向量 11

中断向量 11 被扩展为 6 个中断源，有 5 个寄存器与此相关。在 V99XX 中，用户可通过配置 ExInt5 位（bit3, PRCtrl1, 0x2D01）使中断向量 11 停止工作。

表 13-26 中断向量 11 中断源

中断向量 11			中断源	使能位	中断源标记 (R/W)
向量地址	使能	标记 (R/W)			
5Bh	IE.7=1 EIE.3=1	IE5 (EXIF.7)	TimerA 溢出中断	ExInt5IE.0	ExInt5IFG.0
			TimerA 捕获中断 0	ExInt5IE.1	ExInt5IFG.1
			TimerA 捕获中断 1	ExInt5IE.2	ExInt5IFG.2
			TimerA 捕获中断 2	ExInt5IE.3	ExInt5IFG.3
			GPSI 非法写入中断*	ExInt5IE.4	ExInt5IF.4
			GPSI 发送完成中断*	ExInt5IE.5	ExInt5IF.5
			模拟比较器中断	ExInt5IE.6	ExInt5IF.6
			主电源低于 2.8V 中断	ExInt5IE.7	ExInt5IF.7

\*当寄存器 PRCtrl0 (0x2D00) 中的 GPSI 位 (bit6) 置 1 时，通用串行通信接口 (GPSI) 工作，所以通过 GPSI 接口非法写入数据或 GPSI 接口完成数据发送会向 CPU 提起中断；当 GPSI 位 (bit6) 清零时，GPSI 接口停止工作，则系统无法产生 GPSI 非法写入中断和发送完成中断。

表 13-27 中断标志（请求）寄存器 (ExInt5IFG, 0x28A2)

0x28A2, R/W, 中断标志（请求）寄存器, ExInt5IFG								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IR7	IR6	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 有中断请求; 0, 无中断请求; X, 不关心。

软件在任何时刻都可以访问 ExInt5IFG，但在中断未使能的情况下，软件写入的扩展中断标志不能提起中断，只有在中断被使能时，在这个寄存器中写入 1，触发软件中断。

写入 0 清除中断标志。

表 13-28 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt5IN, 0x28A3)

0x28A3, R/W, 扩展中断输入类型寄存器, ExInt5IN								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0

0x28A3, R/W, 扩展中断输入类型寄存器, ExInt5IN

	EDG7 I	EDG6I	EDG5I	EDG4I	EDG3I	EDG2I	EDG1I	EDG0I
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-29 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt5OUT, 0x28A4)

0x28A4, R/W, 扩展中断输出类型寄存器, ExInt5OUT

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	-	-	EDGO
默认值	-	-	-	-	-	-	-	1

为保证系统正常工作, 该寄存器必须采用默认值。

表 13-30 扩展中断使能寄存器 (ExInt5IE, 0x28A5)

0x28A5, R/W, 扩展中断使能寄存器, ExInt5IE

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IE7	IE6	IE5	IE4	IE3	IE2	IE1	IE0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 使能; 0, 屏蔽; X, 不关心。

表 13-31 扩展中断队列寄存器 (ExInt5OV, 0x28A6)

0x28A6, R/W, 扩展中断队列寄存器, ExInt5OV

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	IPND 7	IPND6	IPND5	IPND4	IPND3	IPND2	IPND1	IPND0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

在 ExInt5IFG 中的标志 (请求) 还没有被软件清除的时候, 如果又发生了同一个中断, 则 ExInt5OV 中相应的位会置 1。这个位只是一个标记, 不会对中断造成任何影响, 需要软件清除。

## 第14章 UART/Timer

当发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位、WDT 溢出复位、RTC/IO 休眠唤醒复位、恢复供电复位或调试复位时，所有定时器和 UART 串行端口被复位。系统进入浅睡眠或者深睡眠状态后，UART 串行端口和定时器会停止工作，进入低功耗状态。用户可以根据应用需要对各个扩展外设的 UART 串行口和 TimerA 进行单独时钟门控以降低系统功耗。

### 14.1 定时器/计数器

V99XX 可提供以下硬件定时器：

1. 具有比较/捕获功能的 16 位计数器，TimerA，可单独时钟门控；
2. 增强型 8052 的 Timer0、Timer1 和 Timer2。其中，Timer0 和 Timer2 是普通定时器，而，Timer1 除了作为普通定时器外，还可被用作 UART1 的波特率发生器。使用 Timer0 和 Timer1 的计数器功能，以及 Timer2 的计数器/捕获功能时，需要对 GPIO 进行设置；
3. 4 个扩展外设的 UART 串行口（UART2/UART3/UART4/UART5）自带的波特率发生器（与 Timer1 兼容，可做普通定时器用，但波特率发生器作普通定时器用时不会提起溢出中断，仅是将相应的溢出标志位置位）和普通定时器（与 Timer0 兼容，其定时溢出事件既可通过中断来响应，也可以通过查询标志位的方式来响应），可单独时钟门控。

本节仅对 8052 微控制器的 Timer0/Timer1/Timer2 和 TimerA 进行介绍，UART 串行口自带的普通定时器将在“UART”一节中介绍。

用户可通过配置时钟周期控制寄存器（CKCON SFR，SFR 0x8E），选择 Timer0、Timer1 和 Timer2 的时钟源（clk/12 或 clk，clk 为 MCU 时钟频率）；通过配置扩展 UART 的控制/状态寄存器，用户可以选择与其相应的波特率发生器和普通定时器的时钟源（clk/12 或 clk）。

#### 14.1.1 TIMERA

TimerA 是一个 16-bit 计数器，有 3 个比较/捕获模块，具有四种工作模式，而且，有 8 种输出模式的 3 个可配置输出单元。在 V99XX 中，用户可通过配置 TimerA 位（bit0，PRCtrl0，0x2D00）使 TimerA 停止工作以降低功耗。

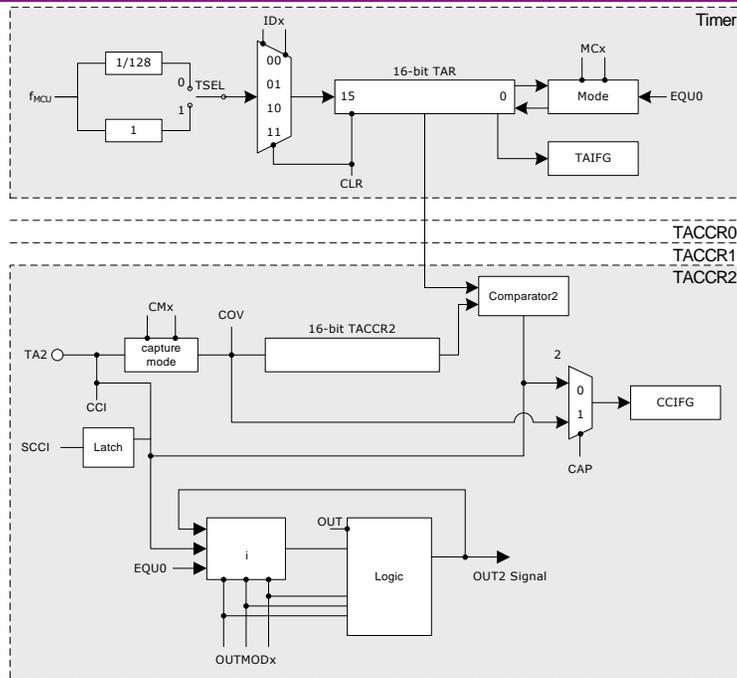


图 14-1 TimerA 结构框图

表 14-1 TimerA 寄存器列表

寄存器		可读 (R) / 可写 (W)
0x2900	TACTL, TimerA 控制寄存器	R/W
0x2902	低位字节	TAR, TimerA 计数寄存器。 R
0x2903	高位字节	
0x2904	TACCTL0, 低位字节	TimerA 的捕获/比较控制寄存器 0。 R/W
0x2905	TACCTH0, 高位字节	
0x2906	TACCTL1, 低位字节	TimerA 的捕获/比较控制寄存器 1。 R/W
0x2907	TACCTH1, 高位字节	
0x2908	TACCTL2, 低位字节	TimerA 的捕获/比较控制寄存器 2。 R/W
0x2909	TACCTH2, 高位字节	
0x290A~0x290B	TACCR0, TimerA 的捕获/比较 0 寄存器	R/W
0x290C~0x290D	TACCR1, TimerA 的捕获/比较 1 寄存器	R/W
0x290E~0x290F	TACCR2, TimerA 的捕获/比较 2 寄存器	R/W

下面将对各相关寄存器做出说明。

表 14-2 TimerA 计数寄存器 (TAR, 0x2902~0x2903)

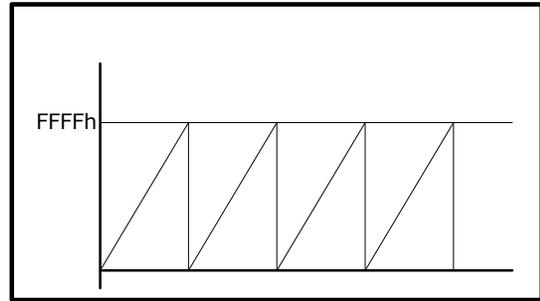
0x2902~0x2903, R, TimerA 计数寄存器, TAR	
TAR	该寄存器的值就是 16 位定时器/计数器的值。该寄存器设定为只读, 不可由软件写入, 但可以由软件复位。另外, TimerA 溢出时会提起中断。 0x2902 为 TAR 低位字节, 0x2903 为 TAR 高位字节。
默认值	0

表 14-3 TimerA 控制寄存器 (TACTL, 0x2900)

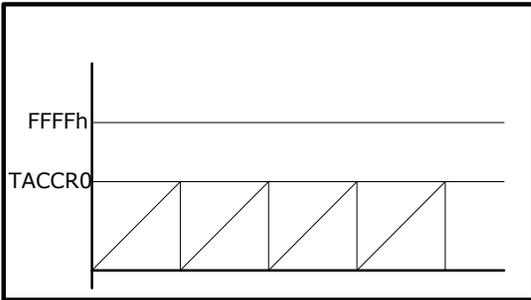
0x2900, R/W, TimerA 控制寄存器, TACTL					
位		默认值	说明		
Bit7	ID1	0	ID1	ID0	说明
			0	0	分频系数为 2
Bit6	ID0		0	1	分频系数为 4
			1	0	分频系数为 8
		1	1	分频系数为 16	
Bit5	MC1	0	工作模式选择, 详见图 TimerA 的工作模式:		
			MC1	MC0	说明
			0	0	Stop Mode, 计数器停止工作;
Bit4	MC0		0	1	Up Mode, 计数器计数到寄存器 TACCR0 的值后, 再从 0 开始重新计数;
		1	0	Continuous Mode, 计数器计数到 FFFFh 后, 再从 0 开始重新计数;	
		1	1	Up/Down Mode, 计数器连续计数到寄存器 TACCR0 的值后, 再递减计数到 0。	
Bit3	TSEL	-	时钟源选择。0, f <sub>MCU</sub> /128; 1, f <sub>MCU</sub>		
Bit2	CLR	0	清除计数器的值(TAR)。当 CLR 置位时, TAR 清零, ID1/ID0=00; Up/Down Mode 下, 计数器直接从 0 开始重新计数。		
Bit1	TAIE	0	TimerA 的中断使能。 当 EIE.3=1, 且, TAIE=1 时, 使能 TimerA 溢出中断; 清零则禁止。		
Bit0	TAIFG	0	TimerA 的中断标记。0, 没有中断; 1, 存在中断。		
			Up Mode: 当定时器从寄存器 TACCR0 的值到 0000h 的时候, TAIFG 置位, 参考图 Up Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出;		
			Continuous Mode: 当定时器从 FFFFh 到 0000h 的时候, TAIFG 置位;		
			Up/down Mode: 定时器先从 0000h 递增至 TACCR0 的值, 再从 TACCR0 的值递减到 0000h, 递减过程中, 从 0001h 递减到 0000h 的那个时刻, TAIFG 置位。		



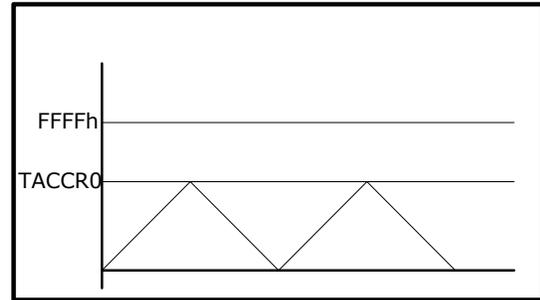
**Stop Mode**  
计时器停止工作。



**Continuous Mode**  
计数器计数到FFFFh，并从0开始重新计数至FFFFh



**Up Mode**  
计数器计数到TACCR0的值，并从0开始重新开始计数至TACCR0的值



**Up/Down Mode**  
计数器连续计数到TACCR0的值，并递减到0000h，再从0000h计数至TACCR0的值

图 14-2 TimerA 的工作模式

当  $MCx > 0$  时，或有时钟输入时，计时器/计数器工作开启；在 Up mode 或 Up/Down mode 下，如果向寄存器 TACCR0 写入 0，则计时器/计数器停止工作，而向该寄存器写入非零的值，可以重启定时器，从 0000h 开始计数至 TACCR0 的值。

在 Up mode 下，在定时器/计数器运行时改变 TACCR0 值。如果新的值大于等于原来的值或定时器目前的计数，则定时器/计数器会计数到新的 TACCR0 的值后再重新从 0 开始计数；如果新的 TACCR0 的值小于定时器目前的计数，则当 TACCR0 值重新设定后，定时器再计一次数后直接从 0 开始重新计数。

在 Up/Down mode 下，在定时器/计数器递减计数时改变 TACCR0 的值，则计时器继续保持递减计数，直到 0000h，然后，从 0000h 递增至新的 TACCR0 的值；在定时器/计数器递增计数时改变 TACCR0 的值，如果新的值大于或等于原来的值或定时器目前的计数，则计时器递增计数到新的 TACCR0 的值，再递减到 0000h；如果新的值小于定时器目前的计数，则当 TACCR0 重新设定后，定时器再递增计数一次后开始递减计数到 0000h。

在 Continuous Mode 下，用户可根据自己的需要设定输出频率，如下图所示。

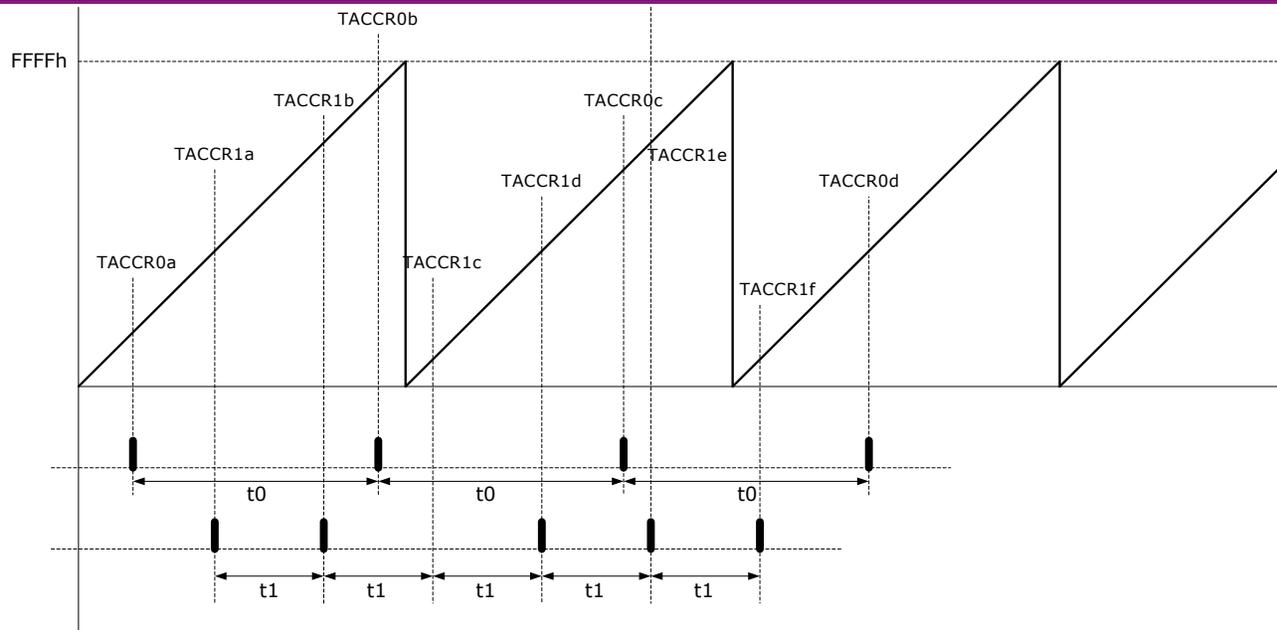


图 14-3 Continuous Mode 的用途

在上图中，TACCR0a 或 TACCR1a 为 Ta0 或 Ta1 时刻的寄存器 TACCR0 或 TACCR1 的值，TACCR0b 或 TACCR1b 为 Tb0 或 Tb1 时刻 ( $Tb0=Ta0+t0$ ,  $Tb1=Ta1+t1$ ) 的 TACCR0 或 TACCR1 的值，依次类推。

上图表明，在 Continuous Mode 下，中断使能时 (CCIE=1, Bit4, TACCTLx)，用户可设定 TimerA 每隔一段时间 (如上图中的 t0 或 t1) 产生一个中断，即，当  $TAR=TACCR0a$  和  $TACCR1a$  时，分别产生一个中断，CCIFG (Bit0, TACCTLx) 分别置标志位；当  $TAR=TACCR0b$  和  $TACCR1b$  时，又分别产生一个中断，依次类推。其中，t0 和 t1 相互独立，互不影响。因为 TimerA 有三个不同的比较/捕获模块，所以，用户最多可设置三个不同的输出频率。在这一应用中，当定时器从 FFFFh 计数到 0000h 的时候，TAIFG 仍会置位。

表 14-4 TimerA 的捕获/比较模块 x\*的控制寄存器 (0x2904~0x2909)

0x2904~0x2905/0x2906~0x2907/0x2908~0x2909, R/W, TimerA 的捕获/比较模块 x 的控制寄存器, TACCTLx~TACCTHx

字节	位		默认值	说明			
高位字节 TACCTHx 0x2905 0x2907 0x2909	Bit15	CM1	0	捕获模式选择。			
	Bit14	CM0		CM1	CM0	说明	
				0	0	禁止捕获模式	
				0	1	上升沿捕获	
				1	0	下降沿捕获	
	1	1	在上升沿和下降沿都捕获				
Bit[13:11]	保留	0	只读, 读出值永远是 0。				
Bit10	SCCI	0	引脚 TA0/TA1/TA2 上的输入信号随着比较信号 EQUx 锁存进入一个对用户透明的锁存器, 通过这个位, 可以读出它的值。复位后, 该位初始值为 0。 注意: 当 TAR 的值等于 TACCRx 的值时, 输出比较信号 EQUx。X=0~2, 分别表示 TimerA 的捕获/比较模块 0/1/2。				
Bit9	保留	0	只读, 读出值永远是 0。				
Bit8	CAP	0	捕获/比较模式选择。 0, 比较模式, 用于产生 PWM 输出信号或在特定的时间间隔内产生中断信号; 1, 捕获模式, 用于计算速度或测量时间, 将定时器的值 (TAR) 捕获进入寄存器 TACCR0/1/2。				
低位字节 TACCTLx 0x2904 0x2906	Bit7	OUTMOD2	0	选择输出模式, 脉冲输出详见图 Up Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出。			
Bit7				Bit6	Bit5	模式	说明
0				0	0	输出	相应引脚 Tax 上输出 OUT 位的值。
0	0	1	置位	当 TAR=TACCRx (x=0~2) 时, 相应引脚 Tax 的输出置			

0x2904~0x2905/0x2906~0x2907/0x2908~0x2909, R/W, TimerA 的捕获/比较模块 x 的控制寄存器, TACCTLx~TACCTHx

字节	位		默认值	说明				
0x2908	Bit6	OUTMOD1						位。置位一直保持，至定时器被复位，或用户选择了其它输出模式并输出。
				0	1	0	翻转/复位	当 TAR=TACCRx (x=1~2) 时，相应引脚 Tax 的输出翻转；当 TAR=TACCRO 时，引脚 Tax 的输出复位。该输出模式不适用于引脚 TA0 上的输出。
	Bit5	OUTMOD0		0	1	1	置位/复位	当 TAR=TACCRx (x=1~2) 时，相应引脚 Tax 的输出置位；当 TAR=TACCRO 时，引脚 Tax 的输出复位。该输出模式不适用于引脚 TA0 上的输出。
				1	0	0	翻转	当 TAR=TACCRx (x=0~2) 时，相应引脚 Tax 的输出翻转。
				1	0	1	复位	当 TAR=TACCRx (x=0~2) 时，相应引脚 Tax 的输出复位。复位一直保持，至用户选择了其它的输出模式，并输出。
				1	1	0	翻转/置位	当 TAR=TACCRx (x=1~2) 时，相应引脚 Tax 的输出翻转；当 TAR=TACCRO 时，引脚 Tax 的输出置位。该输出模式不适用于引脚 TA0 上的输出。
				1	1	1	复位/置位	当 TAR=TACCRx (x=1~2) 时，相应引脚 Tax 的输出复位；当 TAR=TACCRO 时，引脚 Tax 的输出置位。该输出模式不适用于引脚 TA0 上的输出。
	Bit4	CCIE		0	中断使能，使能或者禁止捕获/比较模块 x 提起的中断。 0, 禁止；1, 使能。			
	Bit3	CCI		0	捕获/比较输入信号。 引脚 TA0/TA1/TA2 上的输入信号可通过这个位读出来。复位后，该位初始值为 0。			
	Bit2	OUT		0	如果 bit7~bit5 配置为 000，引脚 TA0/TA1/TA2 上输出 OUT 位的值。			
Bit1	COV	0	捕获溢出标志。 选中捕获模式，COV= 0，捕获信号的产生被复位，捕获事件不能将 COV 位置位。 选中捕获模式，COV= 1，如果发生了第二次捕获事件，而第一次捕获的值还没有被读出，溢出标志位 COV 置位。必须使用软件对溢出标志位进行复位，读出捕获的值并不能对它进					

0x2904~0x2905/0x2906~0x2907/0x2908~0x2909, R/W, TimerA 的捕获/比较模块 x 的控制寄存器, TACCTLx~TACCTHx

字节	位		默认值	说明
				行复位。
	Bit0	CCIFG	0	<p>捕获模式: 如果 CCIFG 置位, 表示定时器的值 (TAR) 被捕获进入了寄存器 TACCR0/1/2。</p> <p>比较模式: 如果 CCIFG 置位, 表示定时器的值 (TAR) 等于寄存器 TACCR0/1/2 中的数据, 参考图 Up Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出。</p> <p>在模块 0 中, 当中断请求被接受之后, CCIFG 自动复位。</p> <p>在模块 1 和模块 2 中, 当中断请求被接受之后, 提起中断的标志位自动复位。如果相应的中断使能位被清零, 则不会产生中断, 但是这些标志位还是会置位。这样, 这些标志位必须用软件进行复位。当相应的中断使能位置位的时候, 软件设置 CCIFG 也会产生中断。</p>

X=0~2, 分别表示 TimerA 的捕获/比较模块 0/1/2, 各模块的控制寄存器地址见表 TimerA 寄存器列表。

在下图中，通过设置 OUTMOD2/OUTMOD1/OUTMOD0 三个位，用户可以选择不同的输出模式。其中，当这三个位被配为 010/011/100/110/111 的时候，输出脉冲的频率和占空比改变，从而实现脉冲宽度调制(PWM)。

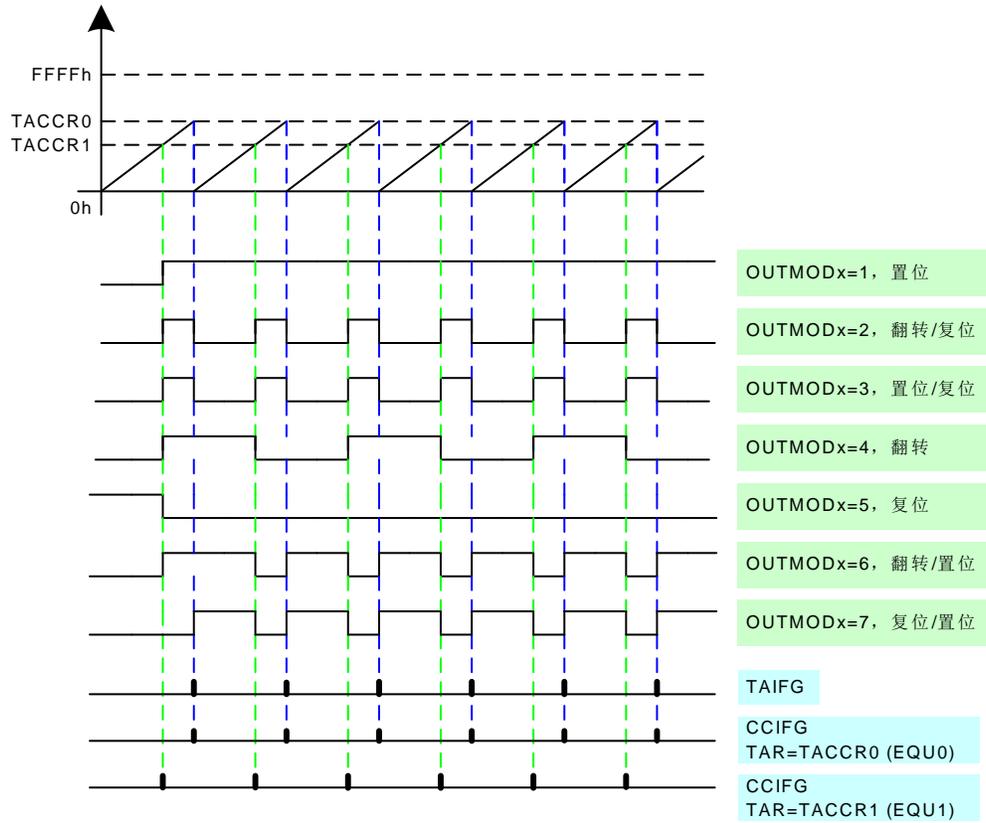


图 14-4 Up Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出

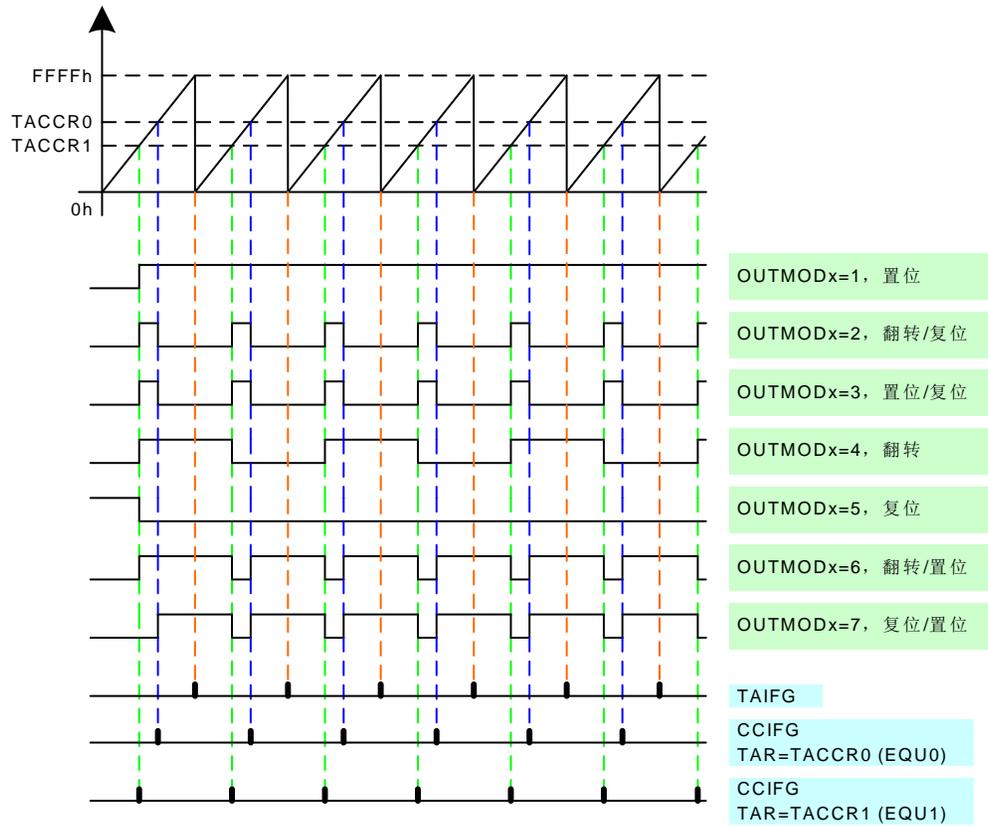


图 14-5 Continuous Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出

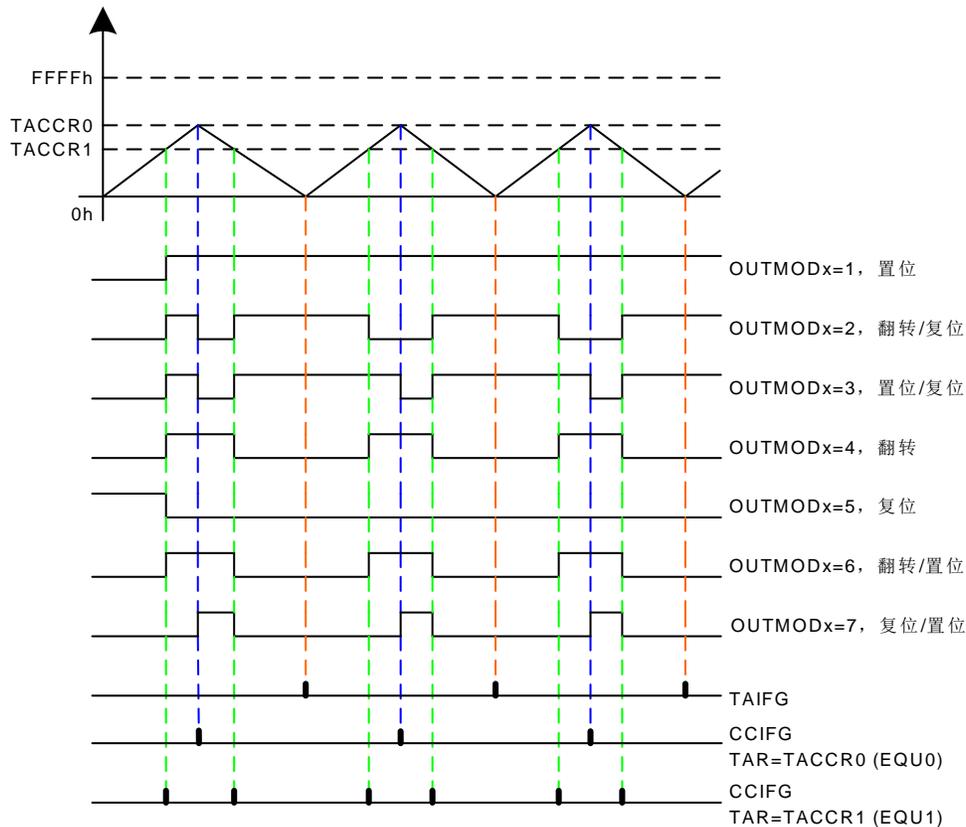


图 14-6 Up/Down Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出

## 14.1.2 TIMER0/TIMER1/TIMER2

### 14.1.2.1 定时器速率控制

当 CKCON SFR (SFR 0x8E) 中的位 CKCON.5、CKCON.4 和 CKCON.3 被设置为 1 时, 相应的定时器每个时钟周期 (clk, MCU 时钟频率) 进行一次计数。反之, 相应的定时器每 12 个时钟周期进行一次计数。定时器的控制相互独立。复位后这三个位都是 0。

表 14-5 Timer0/Timer1/Timer2 时钟源选择

寄存器	位	说明
时钟周期控制寄存器 (CKCON SFR, SFR 0x8E)	Bit5 T2M	Timer2 时钟源选择。默认为 0。 0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
	Bit4 T1M	Timer1 时钟源选择。默认为 0。 0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
	Bit3 T0M	Timer0 时钟源选择。默认为 0。 0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。

### 14.1.2.2 TIMER0 和 TIMER1

Timer0 和 Timer1 都有四种工作模式，由 TMOD SFR 和 TCON SFR 进行控制。四种工作模式分别为：

- 13 位定时器/计数器（模式 0）；
- 16 位定时器/计数器（模式 1）；
- 自动重新加载初值的 8 位定时器/计数器（模式 2）；
- 两个 8 位的定时器/计数器（模式 3，仅 Timer0 能工作在这种模式下）。

表 14-6 时钟周期控制寄存器（CKCON SFR, SFR 0x8E）

SFR 0x8E, R/W, 时钟周期控制寄存器, CKCON SFR				
位		默认值	功能	说明
Bit[7:6]	保留	0		
Bit5	T2M	0	Timer2 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
Bit4	T1M	0	Timer1 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
Bit3	T0M	0	Timer0 时钟源选择	0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源。
Bit[2:0]	MD2/MD1/MD0	1	MOVX 访问周期的扩展值	详见“可编程的 MOVX 访问周期”

\*clk 表示 MCU 时钟（时钟 1）信号频率。

表 14-7 Timer0/1 模式控制寄存器（TMOD SFR, SFR 0x89）

位		功能						
Bit7 TMOD.7	GATE	Timer1 的门控信号。 当 GATE 置位时, Timer1 只有在引脚 INT1 = 1 并且 TR1 (TCON.6) = 1 的情况下工作。当 GATE = 0 时, Timer1 在 TR1 = 1 的情况下工作, 而与引脚 INT1 的状态无关。						
Bit6 TMOD.6	C/T	Timer1 模式选择位。 C/T = 0, Timer1 作定时器用, 由时钟信号 (clk 或 clk/12, 由 CKCON.4 位决定) 驱动。 C/T = 1, Timer1 作计数器用, 由引脚 T1 输入信号驱动, 对引脚 T1 上输入信号的 1-0 的跳变进行计数。						
Bit5 TMOD.5	M1	Timer1 模式选择位。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>M1</th> <th>M0</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #cccccc;"> </td> <td style="background-color: #cccccc;"> </td> <td style="background-color: #cccccc;"> </td> </tr> </tbody> </table>	M1	M0	说明			
M1	M0	说明						

位		功能		
Bit4 TMOD.4	M0	0	0	模式 0, 13 位定时器/计数器。
		0	1	模式 1, 16 位定时器/计数器。
		1	0	模式 2, 自动重新加载初值的 8 位定时器/计数器。
		1	1	模式 3, 两个 8 位的定时器/计数器。
Bit3 TMOD.3	GATE	Timer0 的门控信号。 当 GATE 置位时, Timer0 只有在引脚 INT0 = 1 并且 TR0 (TCON.4) = 1 的情况下工作。 当 GATE = 0 时, Timer0 在 TR0 = 1 的情况下工作, 与引脚 INT0 的状态无关。		
Bit2 TMOD.2	C/T	Timer0 模式选择位。 C/T = 0, Timer0 作定时器用, 由时钟信号 (clk 或 clk/12, 由 CKCON.3 位决定) 驱动。 C/T = 1, Timer0 作计数器用, 由引脚 T0 输入信号驱动, 对引脚 T0 上输入信号的 1-0 的跳变进行计数。		
Bit1 TMOD.1	M1	Timer0 模式选择位。		
		M1	M0	说明
Bit0 TMOD.0	M0	0	0	模式 0, 13 位定时器/计数器。
		0	1	模式 1, 16 位定时器/计数器。
		1	0	模式 2, 自动重新加载初值的 8 位定时器/计数器。
		1	1	模式 3, 两个 8 位的定时器/计数器。

表 14-8 Timer0/1 控制寄存器 (TCON SFR, SFR 0x88)

位		功能
Bit7 TCON.7	TF1	Timer1 溢出标志位。 当 Timer1 计数溢出时, TF1=1; 当 CPU 响应此溢出中断后自动清 0。
Bit6 TCON.6	TR1	Timer1 运行控制位。 TR1=1, 使能 Timer1 进行计数。
Bit5 TCON.5	TF0	Timer0 溢出标志位。 当 Timer0 计数溢出时, TF0=1; 当 CPU 响应此溢出中断后自动清 0。
Bit4 TCON.4	TR0	Timer0 运行控制位。 TR0=1, 使能 Timer0 进行计数。
Bit3 TCON.3	IE1	端口中断 1 边沿检测位。如果将端口中断 1 配置为边沿触发 (IT1 = 1), 当检测到引脚 INT1 输入信号上的下降沿的时候, IE1 由硬件自动置位; 当 CPU 响应了相应的中断后, IE1 由硬件自动清除。在边沿触发模式中, IE1 也可以由软件进行清除。 如果端口中断 1 配置为电平触发 (IT1 = 0), 当引脚 INT1 上的输入信号为低电平的时候, IE1 由硬件自动置位, 当引脚 INT1 上的输入信号为高电平的时候, IE1 由硬件自动清除。在电平触

位	功能
	发模式中，软件不能对 IE1 位进行写操作。
Bit2 TCON.2	IT1 端口中断 1 类型选择位。 1, CPU 检测引脚 INT1 输入信号上的下降沿（边沿触发）； 0, CPU 检测引脚 INT1 上的输入信号上的低电平（电平触发）。
Bit1 TCON.1	IE0 端口中断 0 边沿检测位。 如果端口中断 0 配置为边沿触发（ITO = 1），当检测到引脚 INTO 输入信号上的下降沿的时候，IE0 由硬件自动置位；当 CPU 响应了相应的中断后，IE0 由硬件自动清除。在边沿触发模式中，IE0 也可以由软件进行清除。 如果端口中断 0 配置为电平触发（ITO = 0），当引脚 INTO 上的输入信号为低电平的时候，IE0 由硬件自动置位，当引脚 INTO 上的输入信号为高电平的时候，IE0 由硬件自动清除。在电平触发模式中，软件不能对 IE0 位进行写操作。
Bit0 TCON.0	IT0 端口中断 0 类型选择位。 1, CPU 检测引脚 INTO 上的输入信号上的下降沿（边沿触发）； 0, CPU 检测引脚 INTO 上的输入信号上的低电平（电平触发）。

#### 14.1.2.2.1 Timer0/1 模式 0

模式 0 对于 Timer0 和 Timer1 而言是相同的。

在模式 0 中，定时器/计数器的低位字节 TL0 SFR（SFR 0x8A）或 TL1 SFR（SFR 0x8B）会从 0 计数到 31，当从 31 开始递增计数时，上述寄存器被清零，且高位字节 TH0 SFR（SFR 0x8C）或 TH1 SFR（SFR 0x8D）加 1。在这一模式下，定时器/计数器仅使用了 13 位，即 TLx（x=0~1）的 Bit0~Bit4 和 THx（x=0~1）的全部 8 位。在模式 0 中，TL0 SFR（SFR 0x8A）或 TL1 SFR（SFR 0x8B）的高三位是不确定的，当使用软件确定寄存器的值时，这三位必须被屏蔽。

在寄存器 TCON SFR 中，通道配置控制位 TR0/TR1（TCON.4/TCON.6），用户可以开启定时器/计数器。在寄存器 TMOD SFR 中，通过配置 C/T 位（TMOD.6 或 TMOD.2），用户可以选择 Timer0/1 是作定时器用还是作计数器用。

在 GATE 位（TMOD.7 或 TMOD.3）是 0 或者 GATE 位是 1 并且引脚 INTO 或者 INT1 上相应的中断输入信号有效的时候，如果 TRx=1（x=0~1，TCON.4 或 TCON.6），则，Timer0/1 运行。

当 13 位定时器/计数器递增计数到 1FFFh，然后再递增计数到全 0 的时候，TCON SFR 中的 TF0（TCON.5）或者 TF1（TCON.7）置位，并且向 CPU 提起中断。

#### 14.1.2.2.2 Timer0/1 模式 1

模式 1 对于 Timer0 和 Timer1 而言是相同的。

在模式 1 中，Timer0/1 被配置成 16 位定时器/计数器。因为定时器/计数器的低位字节（TL0 SFR 和 TL1 SFR）的全部 8 位都有效，所以 TLx（x=0~1）从 0 开始递增计数到 255。当 TLx（x=0~1）从 255 继续递增计数时，定时器/计数器的低位字节会被清零，而高位字节（TH0 SFR 和 TH1 SFR）会加 1。定时器/计数器计数到 FFFFh 后，会递增计数到全 0。其他情况下，模式 1 的操作与模式 0 相同。

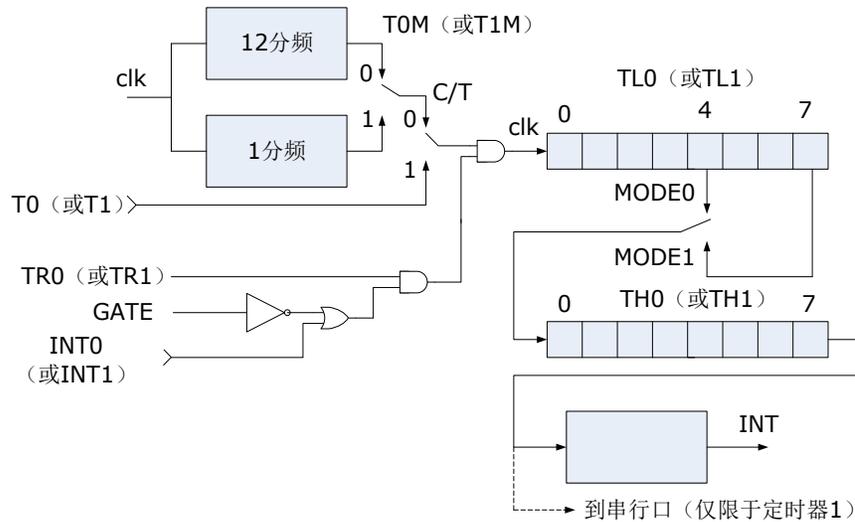


图 14-7 Timer0/1 模式 0/1

### 14.1.2.2.3 定时器 0/1 模式 2

模式 2 对于 Timer0 和 Timer1 而言是相同的。

在模式 2 中，Timer0/1 被配置成可以重新加载初值的 8 位定时器/计数器。其中，定时器/计数器的低位字节 TL0 SFR (SFR 0x8A) 或 TL1 SFR (SFR 0x8B) 是定时器/计数器，高位字节 TH0 SFR (SFR 0x8C) 或 TH1 SFR (SFR 0x8D) 保存重新加载初值（如，200）。低位字节可递增至 255，而当 TLx (x=0~1) 从 255 继续递增计数时，TLx 的值会重置为 THx (x=0~1) 中保存的初值（如，200），然后，TLx 从该初值（如 200）开始重新计数，而 THx 保持不变。模式 2 的控制部分与模式 0 和模式 1 相同。

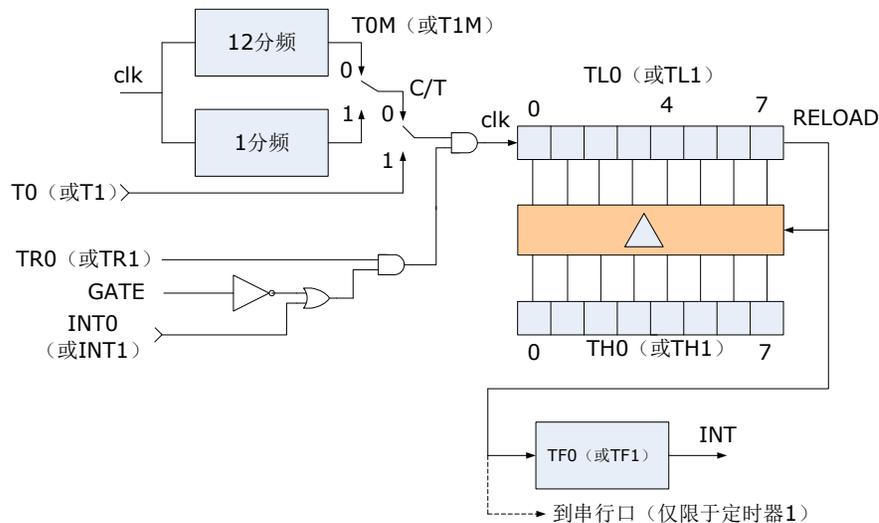


图 14-8 Timer0/1 模式 2

### 14.1.2.2.4 Timer0/1 模式 3

在模式 3 中，Timer0 的高位字节和低位字节分别作为两个独立的 8 位定时器/计数器使用；Timer1 停止计数，并保持它的值不变。

如下图所示，TL0 SFR (SFR 0x8A) 被配置成 8 位的定时器/计数器，由 Timer0 的控制位控制。在寄存器 TMOD SFR 中，通过配置 C/T 位 (TMOD.2)，用户可以选择 TL0 SFR 是作定时器用还是作计数器用。当 TR0 (TCON.4) = 1，且引脚 INT0 为高电平时，如果 GATE (TMOD.3) = 1，则 Timer0 可用于对引脚 INT0 上的输入信号上低电平脉冲宽度的计数。

TH0 SFR (SFR 0x8C) 作为一个独立的 8 位定时器工作，只能由时钟信号 (clk 或者 clk/12) 驱动。Timer1 的控制位 TR1 (TCON.6) 和标志位 TF1 (TCON.7) 被用来作为 TH0 SFR 的控制位和标志位。

由于 Timer0 使用了 Timer1 的控制位 (TR1) 和中断标志位 (TF1)，所以当 Timer0 工作在模式 3 中的时候，Timer1 不能完全发挥作用。不过 Timer1 依然可以用作波特率发生器，位于 TL1 SFR (SFR 0x8B) 和 TH1 SFR (SFR 0x8D) 中的依然是 Timer1 的计数值。

当 Timer0 工作在模式 3 下时，通过配置 Timer1 的模式位 (TMOD.5 和 TMOD.4)，用户可控制 Timer1。在模式 0、模式 1 或者模式 2 中，用户可开启 Timer1；在模式 3 中，用户可关闭 Timer1，此时 Timer1 依然可以使用其模式选择位 C/T (TMOD.6) 和时钟源选择位 T1M 位 (CKCON.4)。因此，Timer1 可以对时钟信号 (clk 或者 clk/12) 进行计数，也可以对引脚 T1 上的输入信号上的高到低电平变化进行计数。当 Timer0 工作在模式 3 的时候，Timer1 的 TMOD.7 仍有效。

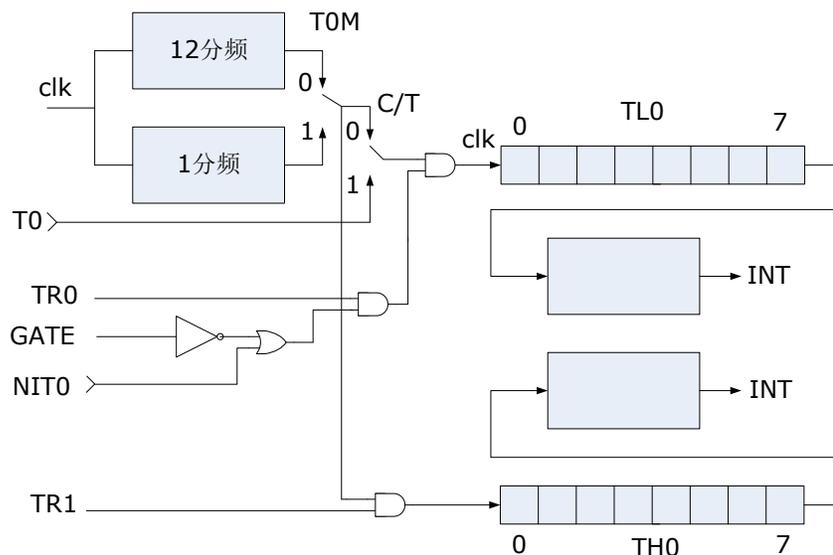


图 14-9 Timer0/1 模式 3

### 14.1.2.3 TIMER2

Timer2 只能工作在 16 位模式下，并提供了 Timer0 和 Timer1 所不具有的一些功能。Timer2 的工作模式如下：

- 16 位定时器/计数器；
- 带有捕获功能的 16 位计数器；
- 可以自动加载初值的 16 位计数器；

与 Timer2 有关的 SFR 包括：

- T2CON SFR (SFR0xC8)；
- RCAP2L SFR (SFR0xCA) – 当 Timer2 被配置成捕获模式的时候，用于捕获 TL2 SFR 的值；或者当 Timer2 被配置成自动加载初值模式的时候，该寄存器的值被加载入 TL2 SFR；

- RCAP2H SFR(SFR0xCB) – 当 Timer2 被配置成捕获模式的时候,用于捕获 TH2 SFR 的值;或者当 Timer2 被配置成自动加载初值模式的时候, 该寄存器的值被加载入 TH2 SFR;
- TL2 SFR (SFR0xCC) – 16 位定时器/计数器的低位字节;
- TH2 SFR (SFR0xCD) – 16 位定时器/计数器的高位字节。

表 14-9 Timer2 控制寄存器 (T2CON SFR, SFR 0xC8)

位		功能
Bit7 T2CON.7	TF2	Timer2 溢出标志位。 当 Timer2 从 FFFFh 溢出的时候, TF2 位由硬件自动置位。TF2 位必须由软件清 0。只有在 bit5 和 bit4 都被清 0 的情况下, TF2 才会被置位。向 TF2 写入 1, 在 Timer2 中断使能的情况下, 会强制触发 Timer2 中断。
Bit6 T2CON.6	EXF2	Timer2 外部中断标志。 EXEN2 置位时, 当引脚 T2EX 上的输入信号的从高到低电平变化引起重新加载初值或者捕获事件时, EXF2 由硬件自动置位。EXF2 必须由软件进行清 0。向 EXF2 写入 1, 在 Timer2 中断使能的情况下, 会强制触发 Timer2 外部中断。
Bit5 T2CON.5	保留	默认为 0。
Bit4 T2CON.4	保留	默认为 0。
Bit3 T2CON.3	EXEN2	Timer2 外部中断使能。 EXEN2 = 1, 引脚 T2EX 上的输入信号由高到低电平的变化可以引发捕获或者重新加载初值事件发生。EXEN2 = 0 的时候, Timer2 将忽略引脚 T2EX 输入信号上的所有外部事件。
Bit2 T2CON.2	TR2	Timer2 运行控制位。 TR2 = 1, 启动 Timer2。TR2 = 0, 关闭 Timer2。
Bit1 T2CON.1	C/T2	Timer2 模式选择位。 C/T2 = 0, Timer2 作定时器用, 根据 T2M 位的值 (CKCON.5), Timer2 每个时钟周期或者每 12 个时钟周期进行一次计数。 C/T2 = 1, Timer2 作计数器用, 对引脚 T2 上的输入信号的高到低电平跳变进行计数。
Bit0 T2CON.0	CP/RL2	捕获/重新加载标志位。 当 CP/RL2 = 1, 并且 EXEN2 = 1 时, 引脚 T2EX 上的输入信号发生高到低电平跳变会将 Timer2 当前的计数值捕获进入 RCAP2L SFR (SFR 0xCA) 或 RCAP2H SFR (SFR 0xCB)。 当 CP/RL2 = 0, 并且 EXEN2 = 1 时, 计数溢出或者引脚 T2EX 上的输入信号发生高到低电平跳变会使 Timer2 自动重新加载初值。如果 RCLK 或者 TCLK 被设置为 1, CP/RL2 将不起作用, 并且 Timer2 将在每一次溢出后都工作在自动重新加载初值模式。

表 14-10 Timer2 模式设置

RCLK	TCLK	CP/RL2	TR2	模式
0	0	1	1	带有捕获功能的 16 位计数器

RCLK	TCLK	CP/RL2	TR2	模式
0	0	0	1	自动加载初值的 16 位计数器
1	X	X	1	保留
X	1	X	1	保留
X	X	X	0	停止运行

#### 14.1.2.3.1 TIMER2 的 16 位定时器/计数器模式

Timer2 在 16 位定时器/计数器模式下的工作原理如下图所示。在寄存器 T2CON SFR 中，通过配置 C/T2 位（T2CON.1），用户可以选择 Timer2 作定时器用还是作计数器用。TR2 位（T2CON.2）置 1 使能 Timer2 运行。当计数从 FFFFh 递增的时候，TF2 标志位（T2CON.7）置位，并且向 CPU 提起中断。

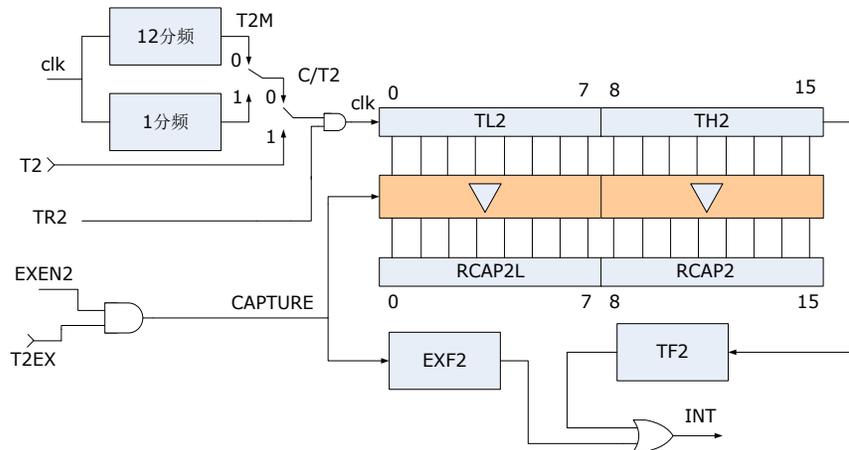


图 14-10 Timer2 的 16 位定时器/计数器模式，带捕获功能的 16 位计数器模式

#### 14.1.2.3.2 TIMER2 的带有捕获功能 16 位计数器模式

Timer2 的捕获模式与 16 位定时器/计数器模式相同，只是增加了捕获寄存器以及控制信号。T2CON SFR 中的 CP/RL2 位（T2CON.0）控制捕获功能的使用。当 CP/RL = 1 并且 EXEN2 = 1（T2CON.3）的时候，引脚 T2EX 上的输入信号的高到低电平跳变会导致 Timer2 的值被加载到捕获寄存器 RCAP2L SFR（SFR 0xCA）和 RCAP2H SFR（SFR 0xCB）中。

#### 14.1.2.3.3 TIMER2 的自动加载初值 16 位计数器模式

当 CP/RL2 = 0（T2CON.0）的时候，Timer2 被配置为自动加载初值模式，计数器的控制输入与其它 16 位计数器模式相同。软件事先将所要加载的初始值写入寄存器 RCAP2L SFR（SFR 0xCA）和 RCAP2H SFR（SFR 0xCB）中。当计数器从 FFFFh 递增的时候，Timer2 设置 TF2 位（T2CON.7）有效，并将 RCAP2L SFR 中的值重载入 TL2 SFR（SFR 0xCC），将 RCAP2H SFR 中的值重载入 TH2 SFR（SFR 0xCD）。

当 Timer2 工作在自动加载初值模式的时候，如果使能位 EXEN2 = 1（T2CON.3），那么引脚 T2EX 上输入信号的高到低电平跳变可以强制引发计数初始值的加载。

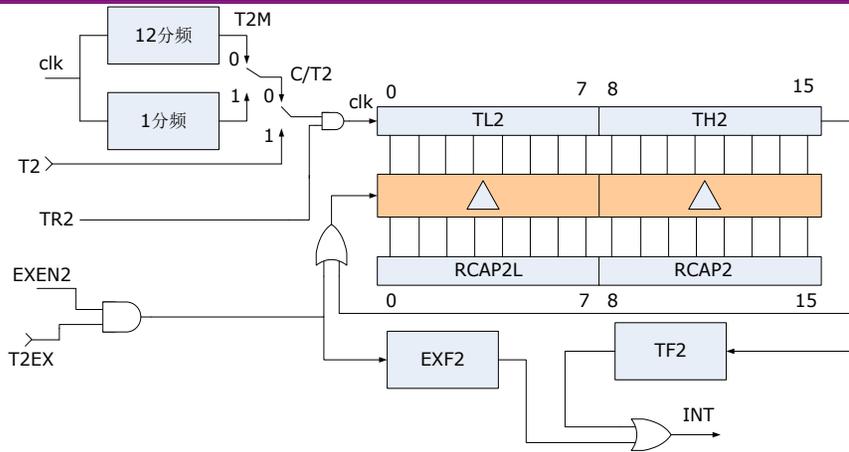


图 14-11 Timer2 自动加载初值的 16 位计数器模式

## 14.2 UART

在 V99XX 中，片上共实现了 5 个 UART 串行口，除了 8052 微控制器的 UART1 外，还包括扩展外设的 UART2/UART3/UART4/UART5。在 V99XX 中，用户可通过配置寄存器 PRCtrl1(0x2D01)中的 UART2 位(bit4) /UART3 位 (bit5) /UART4 位 (bit6) /UART5 位 (bit7) 使相应的扩展 UART 串行口停止工作以降低功耗，如例如用户可通过配置寄存器 PRCtrl1 (0x2D01) 中的 UART2 位 (bit4) / UART4 位 (bit6) /UART5 位 (bit7) 使相应的扩展 UART 串行口停止工作。

扩展外设的 UART 串行口有四种工作模式，其中，在模式 0 下，RXD 端口只能接收数据，TXD 端口则提供移位时钟；但在其他模式下，上述扩展外设的 UART 串行口与标准 8051 微控制器的 UART 串行口功能兼容。推荐使用扩展 UART 作串行口用。

### 14.2.1 UART1

UART1 除了只能由 Timer1 产生波特率，以及不能产生 38kHz 载波之外，其结构与工作模式同 UART2。寄存器 EICON (SFR 0xD8) 中的 SMOD1 (EICON.7) 控制 UART1 波特率是否加倍。

与 UART1 相关的 SFR 包括：

- SCON1 (SFR 0xC0) - UART1 控制寄存器；
- SBUF1 (SFR 0xC1) - UART1 缓冲寄存器。

表 14-11 UART1 控制寄存器 (SCON1 SFR, SFR 0xC0)

位		功能			
Bit7	SCON1.7	UART1 模式位。			
SM0_1		SM0_1	SM1_1	模式	说明

位		功能			
Bit6 SCON1.6	SM1_1	0	0	0	8 位移位寄存器，波特率=clk 或 clk/12。
		0	1	1	8 位 UART，波特率由 Timer1 决定。
		1	0	2	9 位 UART，波特率=clk/32 或 clk/64。
		1	1	3	9 位 UART，波特率由 Timer1 决定。
Bit5 SCON1.5	SM2_1	多处理器通信使能位。在模式 2 和模式 3 中，SM2_1 位使能多处理器通信功能。在模式 2 和 3 中，当 SM2_1 = 1 时，如果接收到的第九位数据是 0，RI_1 将不置位。在模式 1 中，当 SM2_1 = 1 时，只有在接收到有效的停止位后，RI_1 才会置位。在模式 0 中，SM2_1 决定波特率：当 SM2_1 = 0 的时候，波特率是 clk/12；当 SM2_1 = 1 的时候，波特率是 clk。			
Bit4 SCON1.4	REN_1	接收使能位。 当 REN_1 = 1，使能通过 UART1 串行口接收数据。			
Bit3 SCON1.3	TB8_1	存储模式 2 和模式 3 中要发送的第九位数据的值。			
Bit2 SCON1.2	RB8_1	在模式 2 和模式 3 中，RB8_1 保存接收到的第九位数据。在模式 1 中，RB8_1 保存停止位。在模式 0 中没有使用 RB8_1。			
Bit1 SCON1.1	TI_1	发送中断标志位。表示数据已经发送完成。在模式 0 中，TI_1 在第八位数据发送完成后置位。在其他的模式中，TI_1 在停止位出现在引脚 TXD1 输出信号上的时候置位。TI_1 必须由软件进行清 0。			
Bit0 SCON1.0	RI_1	接收中断标志位。表示一个串行数据接收完成。在模式 0 中，RI_1 在接收完第八位数据后置位。在模式 1 中，根据 SM2_1 位的状态不同，RI_1 在对接收到的停止位进行最后一次采样后置位，在模式 2 和模式 3 中，RI_1 在对 RB8_1（第九位数据）进行最后一次采样后置位。RI_1 必须由软件进行清 0。			

## 14.2.2 扩展外设 UART

UART2/UART3/UART4/UART5 的结构与原理基本相同，但是，仅 UART2 可用于发送带有 38kHz 载波的信号。

这几个 UART 串行口均带有一个波特率发生器（与 Timer1 兼容）以及一个普通定时器（与 Timer0 兼容）。其中普通定时器的定时溢出事件既可以通过中断来响应，也可以通过查询标志位的方式来响应；波特率发生器作为普通定时器使用的时候，并不会提起中断，而是把相应的溢出标志位置位。作为 CPU 的扩展外设，这些串行端口由专用的控制/状态寄存器控制其波特率是否加倍、普通定时器和波特率发生器的时钟源选择、启动和溢出状态等。

扩展 UART 中波特率定时器具有分数波特率补偿机制，对应于扩展 UART2/3/4/5 的分数波特率补偿寄存器分别为 Fraction2, Fraction3, Fraction4, Fraction5。

### 14.2.2.1 寄存器

与 UART 串行口相关的寄存器如下表所示。

表 14-12 UARTx 相关的寄存器

0x2820, R/W	TCON2, UART2 控制/状态寄存器
-------------	-----------------------

0x2821, R/W	TMOD2, UART2 相关定时器模式控制寄存器
0x2822, R/W	TH20, UART2 普通定时器高位字节
0x2823, R/W	TH21, UART2 波特率发生器高位字节
0x2824, R/W	TL20, UART2 普通定时器低位字节
0x2825, R/W	TL21, UART2 波特率发生器低位字节
0x2826, R/W	SCON2, UART2 控制寄存器
0x2827, R/W	SBUF2, UART2 缓冲寄存器
0x2828, R/W	TCON3, UART3 控制/状态寄存器
0x2829, R/W	TMOD3, UART3 相关定时器模式控制寄存器
0x282A, R/W	TH30, UART3 普通定时器高位字节
0x282B, R/W	TH31, UART3 波特率发生器高位字节
0x282C, R/W	TL30, UART3 普通定时器低位字节
0x282D, R/W	TL31, UART3 波特率发生器低位字节
0x282E, R/W	SCON3, UART3 控制寄存器
0x282F, R/W	SBUF3, UART3 缓冲寄存器
0x2830, R/W	TCON4, UART4 控制/状态寄存器
0x2831, R/W	TMOD4, UART4 相关定时器模式控制寄存器
0x2832, R/W	TH40, UART4 普通定时器高位字节
0x2833, R/W	TH41, UART4 波特率发生器高位字节
0x2834, R/W	TL40, UART4 普通定时器低位字节
0x2835, R/W	TL41, UART4 波特率发生器低位字节
0x2836, R/W	SCON4, UART4 控制寄存器
0x2837, R/W	SBUF4, UART4 缓冲寄存器
0x2838, R/W	TCON5, UART5 控制/状态寄存器
0x2839, R/W	TMOD5, UART5 相关定时器模式控制寄存器
0x283A, R/W	TH50, UART5 普通定时器高位字节
0x283B, R/W	TH51, UART5 波特率发生器高位字节
0x283C, R/W	TL50, UART5 普通定时器低位字节
0x283D, R/W	TL51, UART5 波特率发生器低位字节
0x283E, R/W	SCON5, UART5 控制寄存器
0x283F, R/W	SBUF5, UART5 缓冲寄存器
0x281C, R/W	Fraction2, UART2 的波特率补偿寄存器
0x281D, R/W	Fraction3, UART3 的波特率补偿寄存器

0x281E, R/W	Fraction4, UART4 的波特率补偿寄存器
0x281F, R/W	Fraction5, UART5 的波特率补偿寄存器

表 14-13 UARTx 控制/状态寄存器 (TCON2/TCON3/TCON4/TCON5)

位	默认值	说明
Bit7 SMOD	0	UARTx 波特率加倍使能位。1, UARTx 的波特率加倍;
Bit6	保留	
Bit5 T1M	0	波特率发生器时钟源选择。0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源;
Bit4 TOM	0	普通定时器时钟源选择。0, 使用 clk/12 作为时钟源; 1, 使用 clk 作为时钟源;
Bit3 TF1	0	波特率发生器溢出标志, 不影响溢出中断。1, 溢出; 0, 无溢出
Bit2 TF0	0	普通定时器溢出标志。1, 溢出; 0, 无溢出
Bit1 TR1	0	波特率发生器的启动位。1, 启动; 0, 关闭
Bit0 TR0	0	普通定时器的启动位。1, 启动; 0, 关闭

表 14-14 UARTx 相关定时器模式控制寄存器 (TMOD2/TMOD3/TMOD4/TMOD5)

位	功能				
Bit7 TMOD2.7	GATE1 必须等于 0, 此时, 波特率发生器在 TR1 = 1 的情况下工作。				
Bit6 TMOD2.6	C/T1 必须等于 0, 此时, 寄存器 TCONx 中的 T1M 位决定波特率发生器是由 clk 驱动还是由 clk/12 驱动。				
Bit5 TMOD2.5	T1M1 波特率发生器模式选择位。				
Bit4 TMOD2.4	T1M0	T1M1	T1M0	模式	说明
		0	0	0	13 位定时器/计数器
		0	1	1	16 位定时器/计数器
		1	0	2	自动重新加载初值的 8 位定时器/计数器
1	1	3	两个 8 位的定时器/计数器		
Bit3 TMOD2.3	GATE0 必须等于 0, 此时, 普通定时器在 TR0 = 1 的情况下工作。				
Bit2 TMOD2.2	C/T0 必须等于 0, 此时, 寄存器 TCONx 中的 TOM 位决定普通定时器是由 clk 驱动还是由 clk/12 驱动。				
Bit1 TMOD2.1	TOM1 普通定时器模式选择位。				
		TOM1	TOM0	模式	说明

位		功能			
Bit0 TMOD2.0	TOM0	0	0	0	13 位定时器/计数器
		0	1	1	16 位定时器/计数器
		1	0	2	自动重新加载初值的 8 位定时器/计数器
		1	1	3	两个 8 位的定时器/计数器

表 14-15 UARTx 控制寄存器 (SCON2/SCON3/SCON4/SCON5)

位		功能			
Bit7 SCON2.7	SM0	UARTx 模式位。			
		SM0	SM1	模式	说明
Bit6 SCON2.6	SM1	0	0	0	8 位移位寄存器, 波特率=clk 或 clk/12。
		0	1	1	8 位 UART, 波特率由波特率发生器决定。
		1	0	2	9 位 UART, 波特率=clk/32 或 clk/64。
		1	1	3	9 位 UART, 波特率由波特率发生器决定。
Bit5 SCON2.5	SM2	多处理器通信使能位。 在模式 2 和模式 3 中, SM2 位使能多处理器通信功能。在模式 2 和 3 中, 当 SM2 = 1 时, 如果接收到的第九位数据是 0, RI 将不置位。在模式 1 中, 当 SM2 = 1 时, 只有在接收到有效的停止位后, RI 才会置位。在模式 0 中, SM2 决定波特率: SM2 = 0, 波特率是 clk/12; SM2 = 1, 波特率是 clk。			
Bit4 SCON2.4	REN	接收使能位。 REN = 1, 使能通过 UARTx 串行口接收数据。			
Bit3 SCON2.3	TB8	存储模式 2 和模式 3 中要发送的第九位数据的值。			
Bit2 SCON2.2	RB8	在模式 2 和模式 3 中, RB8 保存接收到的第九位数据。在模式 1 中, RB8 保存停止位。在模式 0 中没有使用 RB8。			
Bit1 SCON2.1	TI	发送中断标志位。表示数据已经发送完成。在模式 0 中, TI 在第八位数据发送完成后置位。在其他的模式中, TI 在停止位出现在 TXD 输出信号上的时候置位。TI 必须由软件进行清 0。			
Bit0 SCON2.0	RI	接收中断标志位。表示一个串行数据接收完成。在模式 0 中, RI 在接收完第八位数据后置位。在模式 1 中, 根据 SM2 位的状态不同, RI 在对接收到的停止位进行最后一次采样后置位, 在模式 2 和模式 3 中, RI 在对 RB8 进行最后一次采样后置位。RI 必须由软件进行清 0。			

表 14-16 UARTx 缓冲寄存器 (SBUF2/SBUF3/SBUF4/SBUF5)

寄存器	R/W	位	默认值	说明
SBUFx	R/W	Bit[7:0]	0	UARTx 缓冲寄存器 串行端口缓冲寄存器仅有一个地址, 但实际是两个缓冲器。写 SBUF 的操

寄存器	R/W	位	默认值	说明
				作完成待发送数据的加载，读 SBUF 的操作可获得已接收到的数据，两个操作分别对应两个不同的寄存器，一个是只写发送寄存器，另一个是只读接收寄存器。当工作于标准的异步全双工通信模式下时，UART 串行端口可实现同时读写数据。

### 14.2.2.2 UART2 发送载波信号

UART2 可以选择发送带有 38kHz 载波的信号，也可以选择发送不带有载波的普通信号。用户可以通过寄存器 Txd2FS 设置 UART2 发送信号的类型，通过寄存器 CARRH 和 CARRL 设置载波信号的频率和占空比：

$$f_{CARR} = \frac{f_{MCU}}{CARRH + CARRL} \quad \text{公式 14-1}$$

$$Duty_{CARR} = \frac{CARRH}{CARRL} \quad \text{公式 14-2}$$

其中， $f_{CARR}$  为载波信号的频率； $Duty_{CARR}$  为载波信号的占空比； $f_{MCU}$  为 MCU 时钟频率；CARRH 为载波信号高电平持续时间，由寄存器 CARRHH 和 CARRHL 决定；CARRL 为载波信号低电平持续时间，由寄存器 CARRLH 和 CARRLL 决定。

表 14-17 TXD2 类型选择寄存器 (Txd2FS, 0x28CF)

0x28CF, R/W, TXD2 类型选择寄存器, Txd2FS			
位		默认值	说明
Bit[7:1]	保留	X	
Bit0	TXD2CARRY	0	0, 带有 38kHz 载波; 1, 不带有载波。 当 TXD2CARRY 被清零时, 引脚 TXD2 发射数位“0”, 发送 38kHz 的载波调制信号。

表 14-18 载波产生寄存器

寄存器		说明	R/W	位	默认值
0x2898	CARRHH	载波产生寄存器 1 高位字节, 占空比控制, 高电平持续时间	R/W	Bit[7:0]	0
0x2899	CARRHL	载波产生寄存器 1 低位字节, 占空比控制, 高电平持续时间	R/W	Bit[7:0]	0
0x289A	CARRLH	载波产生寄存器 2 高位字节, 占空比控制, 低电平持续时间	R/W	Bit[7:0]	0
0x289B	CARRLL	载波产生寄存器 2 低位字节: 占空比控制, 低电平持续时间	R/W	Bit[7:0]	0

### 14.2.3 UART 的模式选择

通过配置 UART 控制寄存器中的模式选择位，如 SCON2 (0x2826) 中的 SM1 和 SM2 位，UART 串行口可工作于四种模式下。

表 14-19 UART 模式选择

模式	同步/异步	波特率时钟	数据位	开始位/停止位	第 9 位的功能
0	8 位移位寄存器	同步	clk 或者 clk/12	8	无

模式	同步/异步	波特率时钟	数据位	开始位/停止位	第 9 位的功能	
1	8 位 UART	异步	由波特率发生器决定	8	1 个开始位, 1 个停止位	无
2	9 位 UART	异步	clk/32 或者 clk/64	9	1 个开始位, 1 个停止位	0, 1, 奇偶校验
3	9 位 UART	异步	由波特率发生器决定	9	1 个开始位, 1 个停止位	0, 1, 奇偶校验

因为 UART1 除了只能由 Timer1 产生波特率, 以及不能产生 38kHz 载波之外, 其结构与工作模式同 UART2。而其它扩展外设的 UART (使用本身自带的波特率发生器) 除了不能产生 38kHz 载波外, 其结构与工作模式同 UART2。所以, 本节以 UART2 为例, 对 UART 的四种工作模式进行说明。

### 14.2.3.1 模式 0

在模式 0 下, RXD 只能接收数据, TXD 提供移位时钟。

在模式 0 中, 当相应的寄存器 SCON2 (0x2826) 中的 REN (SCON2.4) 置位并且 RI (SCON2.0) 被清 0 的时候, 就开始接收数据。在移位时钟的每个上升沿上, UART 移位接收数据, 直到 8 个数据位全部接收完为止。在移位接收完第八个数据位之后, 再过一个机器周期, RI 置位并且接收过程结束, 直到软件清除 RI 位开始一次新的接收过程。

### 14.2.3.2 模式 1

模式 1 提供了标准的异步、全双工通信功能, 一帧数据包括 10 位: 一个开始位, 8 个数据位, 一个停止位。对于接收操作, 停止位保存在 RB8 位 (SCON2.2) 中。不管接收还是发送, 都是最低位在前。

模式 1 的波特率是波特率发生器溢出频率的函数。UART2 使用其自身的波特率发生器来产生波特率。每当波特率发生器从它们的最大计数值再次递增计数的时候, 就给波特率电路产生了一个时钟。这个时钟被 16 分频后用于产生波特率。波特率计算公式如下:

$$\text{BaudRate} = \frac{2^{\text{SMOD}x}}{32} \times \text{Overflow} \quad \text{公式 14-3}$$

其中, Overflow 为波特率发生器的溢出频率。UART1 使用 Timer1 作波特率发生器, UART2~UART5 使用本身自带的波特率发生器 (与 Timer1 兼容)。而, SMODx 为 SMOD0/1 的值, 决定波特率发生器的溢出频率是否被 2 分频, 从而实现波特率是否加倍。

一般情况下, 波特率发生器被配置为自动加载初值的 8 位定时器模式。波特率发生器初值存储在 TH21 (0x2823) 中, 所以, 完整的波特率公式 (使用 clk/12 产生波特率的情况下) 为:

$$\text{BaudRate} = \frac{2^{\text{SMOD}x}}{32} \times \frac{\text{clk}}{12 \times (256 - \text{TH21})} \quad \text{公式 14-4 其中, clk 为 MCU 时钟频率, TH21 为寄存器 TH21 的值。}$$

波特率发生器的时钟源选择由寄存器 TCON2 (0x2820) 中的 T1M (TCON2.5) 位决定。当 T1M=1 时, 波特率发生器选择 clk 为时钟源, 则公式 14-4 变为:

$$\text{BaudRate} = \frac{2^{\text{SMOD}x}}{32} \times \frac{\text{clk}}{(256 - \text{TH21})} \quad \text{公式 14-5 此时, 如果波特率已知, 用户可通过下式求得 TH21 的值:}$$

$$\text{TH21} = 256 - \frac{2^{\text{SMOD}x} \times \text{clk}}{32 \times \text{BaudRate}} \quad \text{公式 14-6}$$

当 T1M=0, 且波特率已知时, 用户可通过下式求得 TH21 的值:

$$TH21 = 256 - \frac{2^{SMOD} \times clk}{384 \times BaudRate}$$

公式 14-7 在模式 1 中，在软件把数据写入寄存器 SBUF2 (0x2827)

之后，UART2 就开始发送数据。UART2 按照下述顺序向 TXD2 端口上输出数据：开始位，8 位数据位（最低位在前），停止位。在停止位发送完成后 TI 位被置位。

模式 1 中，在 REN 位 (SCON2.4) 使能的情况下，RXD2 端口接收到开始位的下降沿后就开始了数据接收过程。为了达到这个目的，不管在何种波特率下，都对 RXD2 上的每一位采样 16 次。当检测到开始位的下降沿后，用于产生接收时钟的计数器被复位，以便与接收到的数据位同步。为了排除干扰的影响，UART2 对在每一位的中间位置进行的三次连续采样所获得的值进行判断，只有当在三次采样中至少两次都相同的值，接收到的数据位才会被认为是有效的。对于开始位的判断尤其如此。如果 RXD2 上的下降沿没有被上述判断方法判断为有效（低电平），那么串行口就停止接收数据，并等待 RXD2 上的下一个下降沿。

如果 RI 为 0 (SCON2.0)，且 SM2 为 1 (SCON2.5)，停止位的状态是 1（如果 SM2 为 0，那么不用关心停止位的状态），UART2 就把接收到的字节写入寄存器 SBUF2(0x2827)中，把停止位加载到 RB8 位(SCON2.2)，并且设置 RI 位。如果不满足上述条件，所接收的数据就会丢失，数据不会加载进入寄存器 SBUF2 和 RB8 位，RI 位也不会被置位。

### 14.2.3.3 模式 2

模式 2 提供了异步、全双工的通信功能。一帧数据包括 11 个位：一个开始位，8 个数据位，一个可编程的第九位，一个停止位。

不管发送还是接收数据都是最低位在前。对于发送操作，第九位由 TB8 (SCON2.3) 决定。如果要把第九位当作奇偶校验位，需要把奇偶位的值 (Bit0, PSW SFR) 放入 TB8 中。

寄存器 TCON2 中的 SMOD 位 (TCON2.7) 决定是否将 UART2 波特率加倍 (clk/32 或 clk/64)。波特率由下式决定：

$$BaudRate = \frac{2^{SMOD} \times clk}{64} \quad \text{公式 14-8}$$

在模式 2 中，在软件把数据写入寄存器 SBUF2 (0x2827) 之后，UART2 就开始发送数据。UART2 按照下述顺序向 TXD2 端口上输出数据：开始位，8 位数据位（最低位在前），第九位和停止位。在停止位发送完成后 TI 被置位。

模式 2 中，在 REN 位 (SCON2.4) 使能的情况下，RXD2 端口接收到开始位的下降沿后就开始了数据接收过程。为了达到这个目的，不管在何种波特率下，都对 RXD2 端口上的每一位采样 16 次。当检测到开始位的下降沿后，用于产生接收时钟的计数器被复位，以便与接收到的数据位同步。为了排除干扰的影响，UART2 对在每一位的中间位置进行的三次连续采样所获得的值进行判断，只有当在三次采样中至少两次都相同的值，接收到的数据位才会被认为是有效的。对于开始位的判断尤其如此。如果 RXD2 上的下降沿没有被上述判断方法判断为有效（低电平），那么 UART2 就停止接收数据，并等待 RXD2 上的下一个下降沿。

如果 RI 为 0 (SCON2.0)，且 SM2 为 1 (SCON2.5)，停止位的状态是 1（如果 SM2 为 0，那么不用关心停止位的状态），UART2 就把接收到的字节写入寄存器 SBUF2(0x2827)，把第九位加载到 RB8 位(SCON2.2)，并且设置 RI 位。如果不满足上述条件，所接收的数据就会丢失，数据不会加载进入寄存器 SBUF2 和 RB8 位，RI 位也不会被置位。

### 14.2.3.4 模式 3

模式 3 提供了异步、全双工的通信功能。一帧数据包括 11 个位：一个开始位，8 个数据位，一个可编程的第九位和一个停止位。不管发送还是接收数据都是最低位在前。

模式 3 中数据的发送和接收操作与模式 2 中相同。模式 3 的波特率发生与模式 1 中相同。也就是说，模式 3 是由模式 2 的协议与模式 1 的波特率综合而成。

### 14.2.3.5 多处理器通信

当 SM2=1 (SCON2.5) 时, 使能模式 2 和模式 3 中的多处理器通信功能。在多处理器通信模式中, 接收到的第九位保存在 RB8 (SCON2.2) 中, 并且在接收到停止位后, 如果 RB8 = 1, 那么将触发 UART2 接收中断。

多处理器通信的典型应用是一台主机向几台从机中的一台发送一个数据块。主机首先发送代表目标从机的地址字节。在发送地址字节的时候, 主机把第九位设置为 1; 在发送数据字节的时候, 设置第九位为 0。

当 SM2 = 1 时, 任何从机接收到数据字节都不会提起中断。不过, 地址字节却可以向所有的从机提起中断, 每一个从机都可以检查收到的地址字节, 判断自己是不是被寻址的从机。地址译码工作必须由软件在中断服务程序中完成。被寻址的从机清除自己的 SM2 位, 并准备开始接收数据字节。没有被寻址的从机保持自己的 SM2 位不变, 并忽略主机发送来的数据字节。

## 14.2.4 波特率补偿

扩展 UART 中波特率定时器具有分数波特率补偿机制, 可以使用更低的时钟频率达到更高的波特率精度。对应于扩展 UART2/3/4/5 的分数波特率补偿寄存器分别为 Fraction2 (0x281C), Fraction3 (0x281D), Fraction4 (0x281E), Fraction5 (0x281F)。

计算出 TH1 初始值的理论配置值为 bdr (取理论值, 不能四舍五入), frc 为取小数操作, int 为取整数操作, round 为取最接近的整数值操作。N 是 Fractionx 设置值中 1 的个数, 最大值为 8。

$$N = \text{round}\left(\frac{4}{5} \times 10 \times \text{frc}(256 - \text{bdr})\right),$$

1 的位置有要求,

N 值	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Fraction 寄存器配置值	0x00	0x10	0x24	0x54	0x55	0x5D	0xBD	0xFD	0xFF

补偿量

$$C = \frac{0.125N}{\text{int}(256 - \text{bdr})},$$

补偿后的波特率误差

$$e = \frac{\text{frc}(256 - \text{bdr}) - 0.125N}{\text{int}(256 - \text{bdr})} + \frac{1}{(8 + N) \times \text{int}(256 - \text{bdr})}^P,$$

当 N 为奇数时, P=1; 当 N 为偶数时, P=0。一般情况下, 当 bdr 的值为 0xFF 或者 0xFE 的时候, 最好取 frc 中 1 的个数为偶数。

## 14.3 增强型 UART (EUART)

除了上述普通 UART 串行口外, V9901 还集成了最多 2 路支持 ISO/IEC 7816-3 通讯协议的增强型 UART 串行口 (EUART), 该串行口提供了异步、半双工的通讯功能, 其通讯波特率可调, 且支持自动重发机制。其发送和接收的数据帧都包括 10 位, 由三部分组成, 分别是: 1-bit 开始位 (START), 8-bit 数据 (DATA) 和 1-bit 校验位 (CK)。接收/发送 8-bit 数据时, 大小端可设置, 如果采用大端模式时 MSB 在前, LSB 在后, 如下图所示。在 V9901 中, 用户可通过配置寄存器 PRCtrl0 (0x2D00) 中的 EUART1 位 (bit1) /EUART2 位 (bit2) 使相应的增强型 UART 串行口停止工作以降低功耗。

其中, P10.0 可用于 EUART1 的数据输入和输出, P10.1 可用于 EUART2 的数据输出, P10.2 可用于 EUART2 的数据输入。

当 EUART1 配置寄存器 (CFG\_A, 0x2A05) 的 ENABLE 置 1 (bit0) 时, P10.0 用于 EUART1 的数据接收与发送, 输出使能自动有效, 而输入使能则由 P10 输入使能控制寄存器控制。当 EUART2 配置寄存器 (CFG\_B, 0x2B05) 的 ENABLE 置 1 (bit0) 时, P10.1 用于 EUART2 的数据发送, P10.2 用于 EUART2 的数据接收, 各自的输出/输入使能由 P10 输出/输入使能控制寄存器控制。

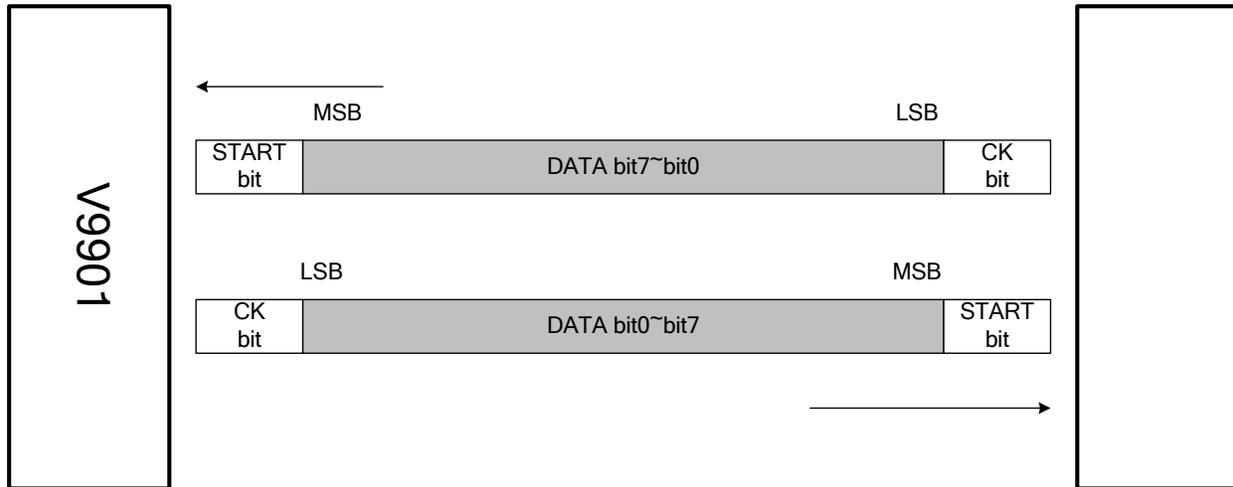


图 14-12 EUART 通信数据帧格式 (MSB)

### 14.3.1 EUART 相关寄存器

EUART1 的寄存器地址对应为 0x2A00~0x2A05, EUART2 的寄存器地址对应为 0x2B00~0x2B05。

表 14-20 EUART1/2 波特率发生器

寄存器		bit	默认值	说明
0x2A01	DIVLA	EUART1/2 波特率发生器低位字节 bit[7:0]	DIV<7:0>	详见 “EUART 通信波特 率”
0x2B01	DIVLB			
0x2A02	DIVHA	EUART1/2 波特率发生器高位字节 bit[7:0]	DIV<15:8>	
0x2B02	DIVHB			

表 14-21 EUART1/2 数据读写缓冲寄存器 (DATAA/DATAB, 0x2A03/0x2B03)

0x2A03/0x2B03, R/W, EUART1/2 数据读写缓冲寄存器, DATAA/DATAB				
位	默认值	说明		
bit[7:0]	D<7:0>	0	该寄存器仅有一个地址, 但实际上对应两个缓冲器: 写缓冲器和读缓冲器。 用户对写缓冲器的写操作可以启动一次数据发送, 对读缓冲器的读操作可以获得已接收到的数据, 两个操作分别对应两个不同的寄存器, 一个是只写发送寄存器, 另一个是只读接收寄存器。 在接收中断发生后, 无论接收到的数据是否校验正确, 接收到的数据均被保存	

0x2A03/0x2B03, R/W, EUART1/2 数据读写缓冲寄存器, DATAA/DATAB

位	默认值	说明
		<p>在只读接收寄存器中。此时，对只读接收寄存器进行读操作，用户可得到接收到的数据。当 <b>OVIE=1</b> (bit7, CFGA/CFGB, 0x2A05/0x2B05) 时，如果接收到数据后用户没有及时读出数据，则，在接收到下一个数据时，发生接收溢出中断。</p> <p>接收到数据后，对只写发送寄存器进行写操作，会启动一次数据发送，但是只读接收寄存器接收到的数据不会被覆盖。</p>

表 14-22 EUART1/2 信息寄存器 (INFOA/INFOB, 0x2A04/0x2B04)

0x2A04/0x2B04, R/W, EUART1/2 信息寄存器, INFOA/INFOB

位	默认值	功能说明
bit7	OVIF	0 接收溢出中断标志。 当接收到新的字节，而之前接收到的字节还没有被读走，则产生此中断。
Bit6	SIF	0 发送中断标志。 读 CKACK 信号状态结束时，产生发送中断。无论数据发送是否成功，均会产生此中断。
Bit5	RIF	0 接收中断标志。 发送 CKACK 信号状态结束时，产生接收中断。无论数据接收是否成功，均会产生此中断。
Bit4	MODE	0 0, MSB 在前；1, LSB 在前。
bit3	SERR	0 发送时，如果发送端接收到的 CKACK=0，则发生 SERR，高有效，即 SERR=1。
Bit2	RERR	0 接收时，如果接收到的校验位与计算的校验位 (CHKSUM) 不一致，则发生 RERR，高有效，即 RERR=1。
Bit1	CHKSUM	0 发送/接收的 8-bit 数据计算获得的校验位。
Bit0	CKACK	0 数据帧发送结束时，接收端向发送端发送的 CKACK 信号。 当接收端未使能自动重收机制时，CKACK 始终置 1。 当接收端使能自动重收机制时，CKACK=1，校验成功；CKACK=0，校验出错。

表 14-23 EUART1/2 配置寄存器 (CFGA/CFGB, 0x2A05/0x2B05)

0x2A05/0x2B05, R/W, EUART1/2 配置寄存器, CFGA/CFGB

位	默认值	功能说明
bit7	OVIE	0 1, 使能接收溢出中断。
Bit6	SDIE	0 1, 使能发送中断；0, 发送中断不会送出。
Bit5	RCIE	0 1, 使能接收中断；0, 接收中断不会送出。

0x2A05/0x2B05, R/W, EUART1/2 配置寄存器, CFGA/CFGB

位		默认值	功能说明
Bit4	ACKLEN	0	当 V9901 工作于 Slave 模式下时, ACKLEN 表示, 如果 V9901 接收到错误数据, CKACK=0 所持续的时间。 0, 1 个字节宽度; 1, 2 个字节宽度
bit3	AUTOSD	0	使能自动重发。 当 V9901 工作于 Master 模式下时, 如果 AUTOSD=1, 则使能自动重发机制, 即如果接收 CKACK 信号为低电平, 则自动重新发送数据。
Bit2	AUTORC	0	使能自动重收。 当 V9901 工作于 Slave 模式下时, 如果 AUTORC=1, 则使能自动重收机制, 即如果接收到错误的的数据, 则 CKACK 置 0, 发送到发送端, 让对方重新发送数据。
Bit1	CHKP	0	校验位。 0, 偶校验; 1, 奇校验。
Bit0	ENABLE	0	EUART 通信使能。 ENABLE=0, V9901 始终处于 IDLE 状态。 当 CFGA 的 ENABLE=1 时, P10.0 用于 EUART1 的数据接收与发送; 当 CFGB 的 ENABLE=1 时, P10.1 用于 EUART2 的数据发送, P10.2 用于 EUART2 的数据接收。

ISO/IEC 7816-3 协议中, 自动重发次数应当不大于 3, 例如, 在重发 2 次都失败后, 将自动重发机制禁止, 用户可通过软件实现这个机制。这样, 就无需用硬件来保证 3 次重发上限, 也有利于软件灵活性。

### 14.3.2 EUART 通信时序

EUART 进行通信时, 收发一个 bit 所需要的时间被定义为基础时间单位 ETU (Elementary Time Unit)。发送端发送完一个数据帧后, 接收端需要一定的时间对接收到的数据进行校验, 然后再根据校验结果发送下一个数据帧或重发上一帧数据, 即, 连续发送两个数据帧之间的等待时间, 该等待时间被定义为检测时间 GT (Guarding Time), 一般,  $1 GT = 3 ETU$ 。

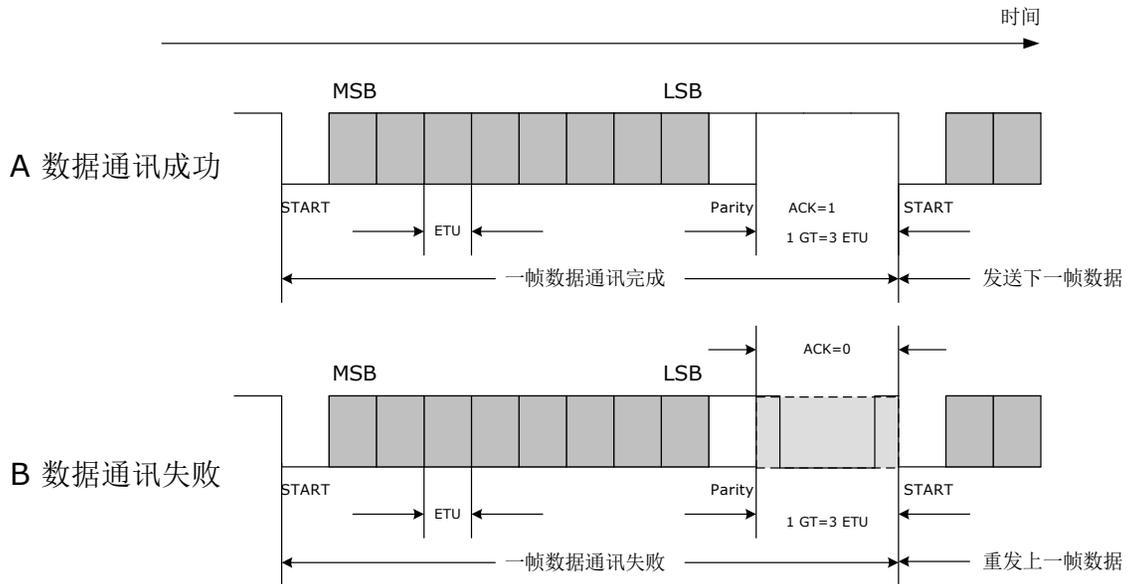


图 14-13 数据通信时序

如上图 A 所示，数据通信成功的时序如下：发送端向接收端发送 10-bit 数据，包括 1-bit 起始位，8-bit 数据位（先发送 MSB）和 1-bit 校验位。然后在一个 GT 中，接收端会先发送 1~2 个 ETU 的校验信号（CKACK），如果 CKACK=1，则校验通过，最后接收端与发送端都处于不输出（输出高）状态，保持至少一个 ETU 的时间。之后，再发送下一帧数据。

如上图 B 所示，数据通讯失败的时序如下：发送端向接收端发送 10-bit 数据，包括 1-bit 起始位，8-bit 数据位（先发送 MSB）和 1-bit 校验位。然后在一个 GT 中，接收端先发送 1~2 个 ETU 的 CKACK 信号，如果 CKACK=0，则在  $9\frac{1}{2}$  个 ETU 时，信号由 1 变为 0，在  $11\frac{1}{2}$  或  $12\frac{1}{2}$  个 ETU 时，信号由 0 变为 1，具体时长由 ACKLEN 位（bit4，CFG，0x2A05/0x2B05）决定，保持  $\frac{1}{2}$  个 ETU，之后再自动重发上一帧数据。

因为 EUART 接口提供的是半双工通信功能，所以，发送端在发送一帧数据的时候，接收端口接收到的数据始终为 1，在发送完校验位后，接收端会向发送端发送一个 CKACK 信号，而发送端的接收端口接收到即是 CKACK 信号。

### 14.3.3 EUART 通信波特率

在 V9901 中，每个 EUART 接口都有一个波特率发生器，其实质是一个 16 位的计数器。用户可通过 EUART1/2 波特率发生器（DIVLA/DIVLB 和 DIVHA/DIVHB）设定计数初始值（DIV），该波特率发生器在系统工作频率（ $f_{MCU}$ ）下进行计数，当从其计数初始值计数到最大值（0xFFFF）时，发送端即产生一个发送使能信号，开始发送 1-bit 数据。

通信波特率计算公式如下：

$$\text{Baudrate} = \frac{f_{MCU}}{10000h - \text{DIV}} = \frac{1}{\text{ETU}}$$

其中， $f_{MCU}$  为 MCU 时钟频率，DIV 为设定的 EUART1/2 波特率发生器计数初始值。

接收使能时刻位于两个发送使能时刻之间，即位于每一个  $\frac{1}{2}$  ETU 处，从而保证了接收到的信号的可靠性。

### 14.3.4 EUART 数据发送与接收

默认情况下，V9901 中的 EUART 接口处于 IDLE 状态。

#### A. 数据发送

在 IDLE 状态下，对 EUART1/2 数据缓冲寄存器 DATAA/DATAB (0x2A03/0x2B03) 进行写操作即可以启动一次发送数据流程，该流程包括几个步骤，每一步均需要 1ETU。

1. 发送起始位 (0)；
2. 发送 8-bit 数据位；
3. 发送 1-bit 校验位；
4. 读取接收到的 CKACK 信号，此状态结束时，产生发送中断 (SDIE=1)。
5. 重发等待状态 1 (1ETU)；
6. 重发等待状态 2 (1ETU)；
7. 如果 CKACK=1，或者禁止自动重发 (AUTOSD=0, bit3, CFGA/B, 0x2A05/0x2B05)，则 EUART 接口回到 IDLE 状态。如果 CKACK=0，且使能自动重发 (AUTOSD=1)，则 EUART 接口进入重发状态，重新开始发送起始位。

#### B. 数据接收

当 V9901 工作于 Slave 模式下时。

在 IDLE 状态下，如果在 EUART 接收端口 (E1RTX/E2RX) 上检测到下降沿即启动一次接收数据流程，该流程包括几个步骤，每一步均需要一个 ETU。

1. 接收起始位 (0)；
2. 接收 8-bit 数据位；
3. 接收 1-bit 校验位；
4. 向发送端发送 CKACK 信号。如果校验正确，或者禁止自动重收 (AUTORC=0, bit2, CFGA/CFGB, 0x2A05/0x2B05)，则发送 1，否则发送 0。
5. 再向发送端发送 CKACK 信号；如果校验正确，或者禁止自动重收 (AUTORC=0)，则发送 1，否则发送 0。此状态结束时，产生接收中断。
6. 回到 IDLE 状态。

上述数据发送与接收流程图如图 11-11 所示。

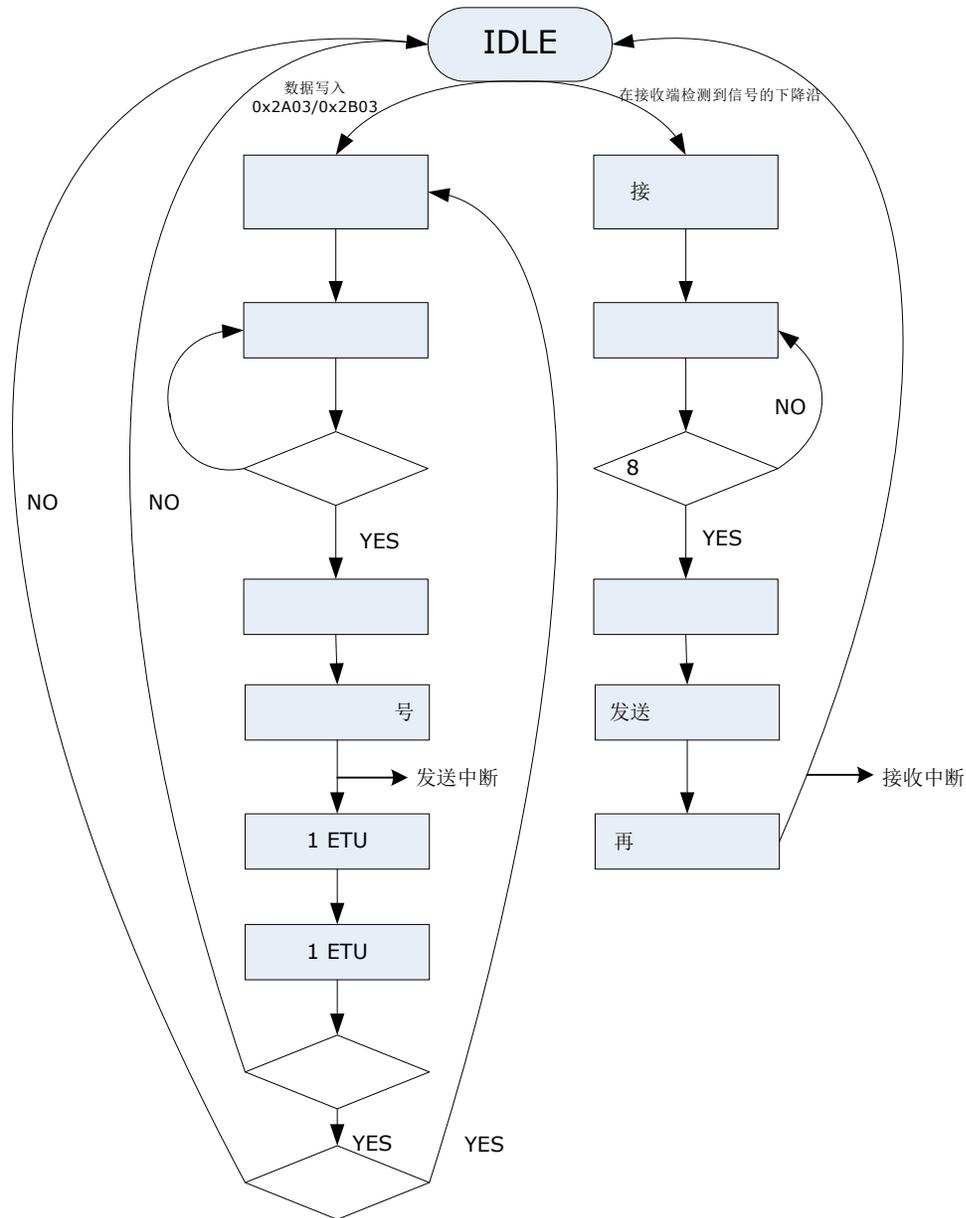


图 14-14 EUART 通信数据发送与接收流程图

### 14.3.5 EUART 的智能卡通信应用

V9901 中集成的 2 路 EUART 接口支持 ISO/IEC 7816-3 通讯协议，可被用于智能卡通信。

当 EUART 用作智能卡通信时，V9901 可经由引脚 P9.7 输出一个可调整脉冲宽度时钟（PWMCLK），作为智能卡时钟输入，其脉冲宽度可由下表所示的寄存器配置。在 V9901 中，用户可通过配置寄存器 PRCtrl0(0x2D00) 中的 PWMCLK 位（bit7）使可调整脉冲宽度时钟发生器停止工作。

用户可通过寄存器 0x289C~0x289F 来设置 PWMCLK 输出频率和占空比：

$$f_{PWMCLK} = \frac{f_{MCU}}{PWMCLK1 + PWMCLK2} \quad \text{公式 14-9}$$

$$Duty_{PWM} = \frac{PWMCLK1}{PWMCLK2} \quad \text{公式 14-10}$$

其中， $f_{PWMCLK}$  为 PWMCLK 输出频率； $Duty_{PWM}$  为 PWMCLK 信号的占空比； $f_{MCU}$  为 MCU 时钟频率；PWMCLK1 为 PWMCLK 信号高电平持续时间，由寄存器 PWMCLK1H 和 PWMCLK1L 决定；PWMCLK2 为 PWMCLK 信号低电平持续时间，由寄存器 PWMCLK2H 和 PWMCLK2L 决定。

表 14-24 可调整脉冲宽度时钟产生寄存器

寄存器	地址	R/W	位	默认值	说明
PWMCLK1H	0x289C	R/W	bit[7:0]	0	可调整脉冲宽度时钟产生寄存器 1 高位字节，控制占空比，高电平持续时间
PWMCLK1L	0x289D	R/W	bit[7:0]	0	可调整脉冲宽度时钟产生寄存器 1 低位字节，控制占空比，高电平持续时间
PWMCLK2H	0x289E	R/W	bit[7:0]	0	可调整脉冲宽度时钟产生寄存器 2 高位字节，控制占空比，低电平持续时间
PWMCLK2L	0x289F	R/W	bit[7:0]	0	可调整脉冲宽度时钟产生寄存器 2 低位字节，控制占空比，低电平持续时间

## 第15章通用串行通信接口 (GPSI)

V99XX 集成了 1 个通用串行通信接口 (General-Purpose Serial Interface, GPSI), 包括时钟线 SCL 和数据线 SDA。

在 V99XX 中, 当 GPSI 位 (bit6, PRCtrl0, 0x2D00) 置 1 时, P9.1 用作 SDA, P9.2 用作 SCL。此时,

- P9.1 必须配置为输入使能;
- P9.2 自动使能输出。

### 15.1 通信帧结构

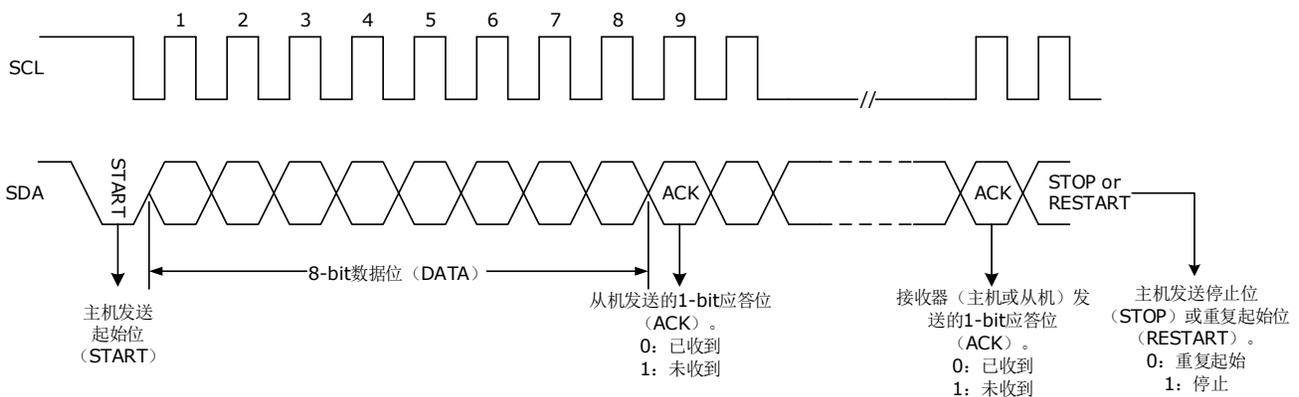


图 15-1 通信帧结构

一个 GPSI 的通信帧可能包括以下所列的一个或几个部分:

- 1-bit 起始位 (START): 在 SCL 信号为高电平期间, SDA 信号产生一个下降沿;
- 8-bit 数据位 (DATA): 通过 8 个 SCL 时钟传输 8-bit 数据。用户可通过配置 Endian 位 (bit4, SICFG, 0x2F01) 决定数据传输是最低位 (LSB) 在前还是最高位 (MSB) 在前;
- 1-bit 应答位 (ACK): 通过 1 个 SCL 时钟发送 1-bit 应答位。由接收器 (主机或从机) 发送的 ACK 才具有实际意义: ACK 为高电平表示接收器未收到发送器发送的数据; ACK 为低电平表示接收器已收到发送器发送的数据。ACK 必须与 DATA 同时发送与接收;
- 1-bit 停止位 (STOP) 或重复起始位 (RESTART): 在 SCL 信号为高电平期间, SDA 信号产生一个上升沿 (STOP 位) 或下降沿 (RESTART)。在产生 STOP 或 RESTART 前, SCL 信号必须先产生一个下降沿, 同时保证在 SCL 信号上升沿时的 SDA 信号的电平: 如果要产生 STOP, 那么应保证 SDA 信号为低电平; 如果要产生 RESTART, 那么应保证 SDA 信号为高电平。

用户可通过 GPSI 收发控制寄存器 (SICFG, 0x2F01) 的 bit[3:0] 决定待发送的通信帧的结构。

表 15-1 不同结构通信帧的功能说明

序号	START	DATA+ACK	STOP/RESTART	功能说明
0	○	○	○	全发送 (无意义)
1	○	○	X	起始帧

序号	START	DATA+ACK	STOP/RESTART	功能说明
2	○	X	○	起始位+停止位 (无意义)
3	○	X	X	纯起始位
4	X	○	○	最后一帧 (数据+停止位)
5	X	○	X	纯数据
6	X	X	○	纯停止位
7	X	X	X	不发送 (无意义)

“○”表示发送;“X”表示不发送。

## 15.2 GPSI 通信频率

通用串行通信接口内部集成了 1 个 16-bit 定时器。当主机发送 START 位时, 定时器从 0 开始对 MCU 时钟脉冲进行计数产生 SCL 时钟信号( $f_{SCL}$ )。主机发送 START 位之前, 用户应在寄存器 SITHH/SITHL(0x2F03/0x2F02)中写入门限值 (TH),  $f_{SCL}$ 、门限值 (TH) 与 MCU 时钟频率 ( $f_{MCU}$ ) 的关系如下:

$$f_{SCL} = \frac{f_{MCU}}{4 \times (TH + 1)}$$

公式 15-1  $f_{SCL}$  最大为 400kHz。

## 15.3 启动数据收发

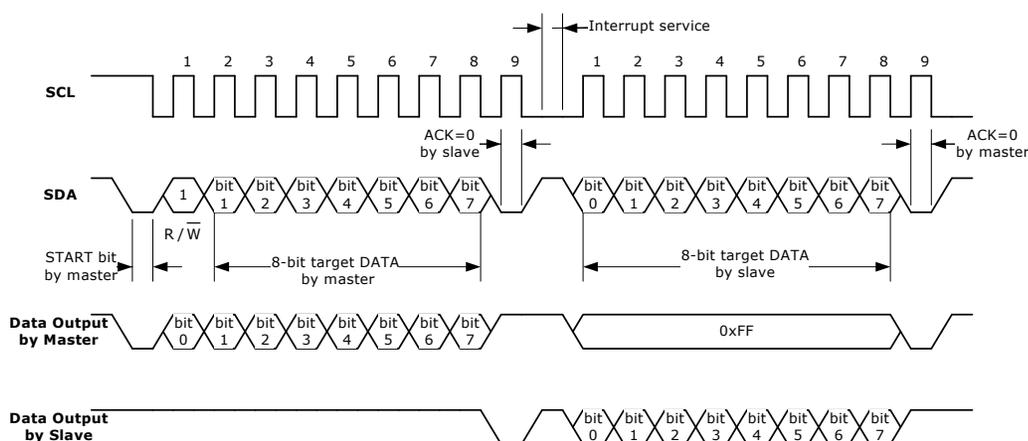


图 15-2 GPSI 接口收发数据

V99XX 通过 GPSI 接口与其它设备进行通信时, MCU 可通过寄存器 SIDAT (0x2F04) 和 ACK 位 (bit0, SIFLG, 0x2F05) 获得 GPSI 接口从 SDA 线上读到的数据。当 BUSY 位 (bit1, SIFLG, 0x2F05) 为 0 时, 表示 GPSI 接口空闲, MCU 对寄存器 SIDAT (0x2F04) 进行写操作即启动数据传输。传输数据时, BUSY 位置 1。待数据传输完成后, BUSY 位清 0。

## 15.4 GPSI 中断

当 IE4=1 (bit4, ExInt5IE, 0x28A5), EIE.3=1 (SFR 0xE8), IE.7=1 (SFR 0xA8) 时, 每完成一次通信帧传送, GPSI 接口即会向 CPU 提起 GPSI 发送完成中断, CPU 执行中断服务程序, 读取 ACK 的值, 并准备下一次通信帧传输。

当 IE5=1 (bit5, ExInt5IE, 0x28A5), EIE.3=1 (SFR 0xE8), IE.7=1 (SFR 0xA8) 时, 如果在进行通信时, 即 BUSY 位 (bit1, SIACK, 0x2F05) 置 1 时, 对寄存器 0x2F01~0x2F04 进行写操作, 则配置无效, GPSI 接口向 CPU 提起 GPSI 非法写入中断。

CPU 执行中断服务程序时, SCL 信号保持低电平。

## 15.5 GPSI 接口

如无另外说明, 以下表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内 (T=-40°C~+85°C, VDD5=3.3V 或 5.0V±10%)。

参数		最小值	最大值	单位
f <sub>SCL</sub>	SCL 时钟频率		400	kHz
t <sub>HD;STA</sub>	起始 (START) 条件 (重复) 的保持时间 (之后, 产生第一个时钟脉冲)	1.875		μs
t <sub>LOW</sub>	SCL 时钟低电平周期	1.25		μs
t <sub>HIGH</sub>	SCL 时钟高电平周期	1.25		μs
t <sub>SU;STA</sub>	重复起始 (RESTART) 条件的建立时间	0.625		μs
t <sub>HD;DAT</sub>	数据保持时间	0.625		μs
t <sub>SU;DAT</sub>	数据建立时间	0.625		μs
t <sub>r</sub>	SDA 和 SCL 信号的上升时间		50	ns
t <sub>f</sub>	SDA 和 SCL 信号的下降时间		50	ns
t <sub>SU;STO</sub>	停止 (STOP) 条件的建立时间	0.625		μs
t <sub>BUF</sub>	停止 (STOP) 条件和起始 (START) 条件之间的总线空闲时间		N/A	
t <sub>SP</sub>	尖峰抑制脉冲宽度		N/A	

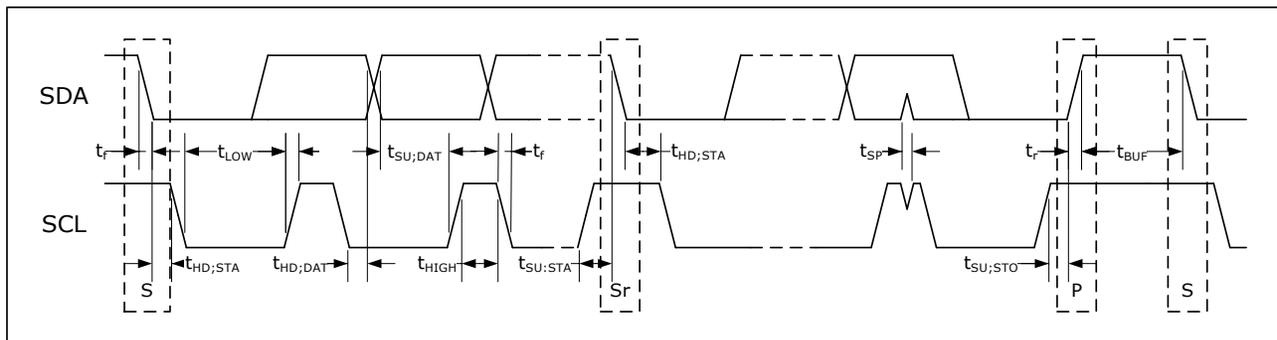


图 15-3 GPSI 接口时序

## 15.6 GPSI 接口用于 I<sup>2</sup>C 通信

当 GPSI 接口用于 I<sup>2</sup>C 通信时, V99XX 可以连接在 I<sup>2</sup>C 总线上作为主机与其它支持 I<sup>2</sup>C 协议的设备 (从机) 进行串行通信。此时, 起始帧用于发送从机地址, 其中 8-bit DATA 中, bit[7:1]为从机地址位, bit0 为读/写控制位 (“1”表示读; “0”表示写)。下图描述了在中断使能的情况下 GPSI 接口用于 I<sup>2</sup>C 通信时的读/写操作。

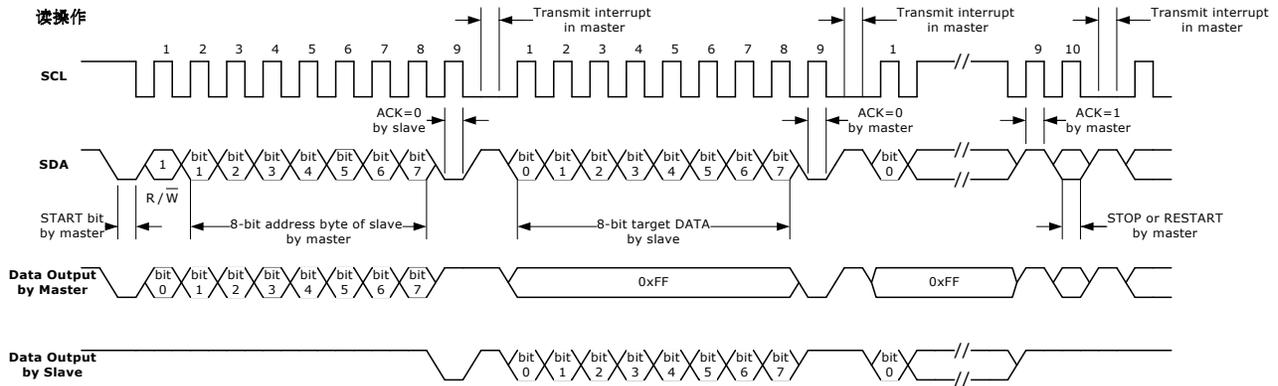


图 15-4 读操作

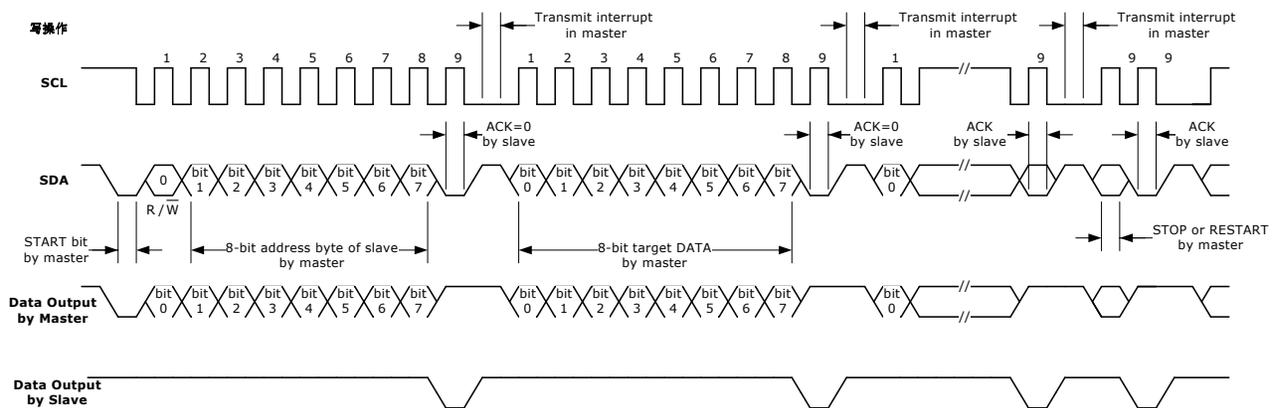


图 15-5 写操作

以下是利用 GPSI 接口根据 I<sup>2</sup>C 协议进行一次顺序读/写操作的示例流程。

1. 写寄存器 SITHH/SITHL (0x2F03/0x2F02)，配置 GPSI 通信频率；
2. 配置寄存器 SICFG (0x2F01)，使能发送 START 位，并将 Endian 位配置为 0；
3. 向寄存器 SIDAT (0x2F04) 写入任何值，启动一个通信帧传输，发送 START 位（此时 BUSY=1）；
4. 当 BUSY 位清 0 时，配置寄存器 SICFG (0x2F01)，使能发送 DATA+ACK，再向寄存器 SIACK (0x2F05) 写入 0x01，向寄存器 SIDAT (0x2F04) 的 bit7~bit1 写入从机地址，根据要进行的操作向 bit0 写入 1（读）或 0（写），启动一个地址帧传输（此时 BUSY=1）；
5. 当 BUSY 位清 0 时，对寄存器 SIACK (0x2F05) 进行读操作，如果读出值为 0，说明目标从机已被选中；
6. 配置寄存器 SICFG (0x2F01)，使能发送 DATA+ACK，再向寄存器 SIACK (0x2F05) 写入 0x01，向寄存器 SIDAT (0x2F04) 的写入待发送的数据（8-bit DATA），启动一个数据帧传输（此时 BUSY=1）；
7. 重复第 5 步和第 6 步，直到完成所有的数据传输；
8. 配置寄存器 SICFG (0x2F01)，使能发送 STOP 或 RESTART；
9. 向寄存器 SIDAT (0x2F04) 写入任何值，启动一个通信帧传输，发送 STOP 位或 RESTART 位。

发送 STOP 位后即完成一次串行通信。

## 15.7 GPSI 接口相关寄存器

表 15-2 GPSI 接口时钟门控相关寄存器

0x2D00, R/W, 外设开关控制寄存器 0, PRCtrl0				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit6	GPSI	R/W	0	1: GPSI 接口正常工作; 0: GPSI 接口停止工作。

表 15-3 GPSI 收发控制寄存器（SICFG, 0x2F01）

0x2F01, R/W, GPSI 收发控制寄存器, SICFG				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:5]	保留	R/W	0	
Bit4	Endian	R/W	0	配置数据发送与接收的字节序。1: LSB 在前; 0: MSB 在前。
Bit3	TXS	R/W	0	将该位置 1 使能收发起始位（START）。
Bit2	TXD	R/W	0	将该位置 1 使能收发 8-bit 数据（DATA）和 1-bit 应答位（ACK）。
Bit1	TXP	R/W	0	将该位置 1 使能收发停止位（STOP）。
Bit0	TXRS	R/W	0	将该位置 1 使能收发重复起始位（RESTART）。

表 15-4 GPSI 通信时钟频率配置寄存器（SITHH/SITHL, 0x2F03/0x2F02）

寄存器	Bit	R/W	默认值	功能说明
0x2F03	SITHH	Bit[7:0]	TH[15:8]	设置 GPSI 接口通信时钟频率。 $f_{SCL} = \frac{f_{MCU}}{4 \times (TH[15:0] + 1)}$
0x2F02	SITHL	Bit[7:0]	TH[7:0]	

表 15-5 GPSI 数据寄存器（SIDAT, 0x2F04）

0x2F04, R/W, GPSI 数据寄存器, SIDAT								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
Endian=0	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Endian=1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

GPSI 接口通信时待收/发的 8-bit 数据, 对该寄存器进行写操作即启动发送和接收数据。

表 15-6 GPSI 标志寄存器（SIFLG, 0x2F05）

0x2F05, R/W, GPSI 标志寄存器, SIFLG			
位	R/W	默认值	功能说明
Bit[7:2]	保留	R/W	0

0x2F05, R/W, GPSI 标志寄存器, SIFLG

位		R/W	默认值	功能说明
Bit1	BUSY	R	0	当 GPSI 进行通信时, 该位置 1, 此时, 对寄存器 0x2F01~0x2F04 进行写操作均会触发非法写入中断, 同时写操作无效。
Bit0	ACK	R/W	0	<p>当接收器 (主机或从机) 收到发送器发送的信息时, 接收器会向发送器发送应答位 (ACK)。</p> <p>当主机作为接收器时, 对该位进行写操作后向从机发送 ACK 位以确认主机是否收到从机发送的信息。</p> <p>当主机作为发送器时, 应先向该位写 1 进行发送, 待发送完成后, 对该位进行读操作以检查从机是否有应答。</p> <p>1: 未收到。0: 已收到。</p>

## 第16章 LCD 驱动电路

V99XX 集成了一个 LCD 驱动电路，可产生 SEG 和 COM 信号，驱动 LCD 液晶屏内容显示。该电路具有如下特点：

- 由 32.768kHz 的 OSC 时钟产生 LCD 扫描时序；
- 深睡眠或浅睡眠状态下，LCD 仍可正常显示；
- 由 LDO33 供电；
- 最高直流电平在 2.7V~3.3V 范围内可调整，调整步长 100mV；
- 支持内部分压电阻网络产生直流分压电平；
- 支持 4 种段位 LCD 显示屏：[1/4 Duty, 1/3 Bias]、[1/6 Duty, 1/3 Bias]、[1/8 Duty, 1/3 Bias]或[1/8 Duty, 1/4 Bias]；
- 支持最多 4COM×40SEG/6COM×38SEG/8COM×36SEGLCD；
- 发生 POR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，LCD 驱动电路被复位。

### 16.1 LCD 驱动电路结构图

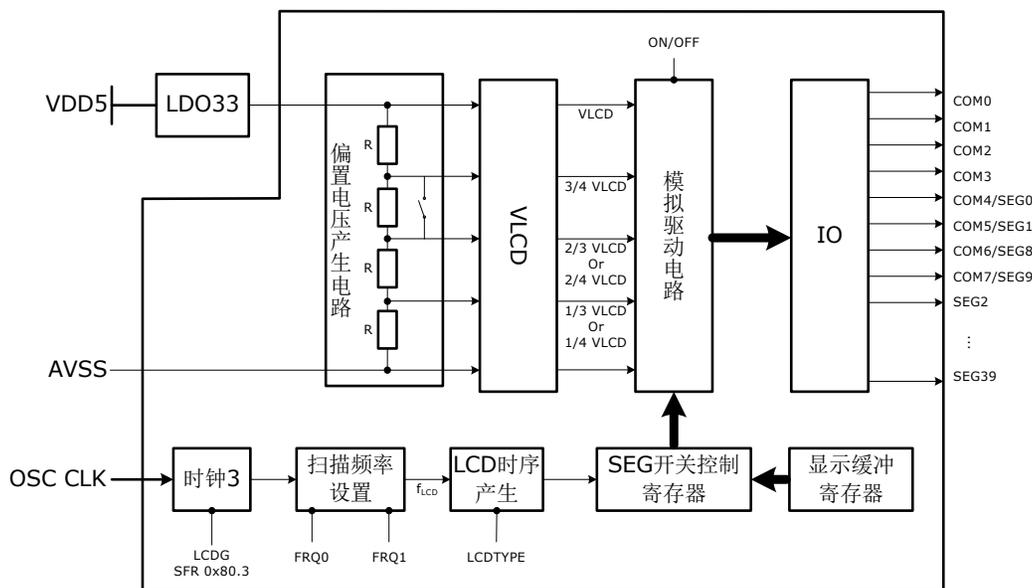


图 16-1 LCD 驱动电路结构图

### 16.2 LCD 驱动电路相关引脚

在 V99XX 中，SEG 输出和 COM 输出与 GPIO 口/M 通道直流信号测量输入复用引脚。当 SEG 开关控制寄存器（R/W）的相应位置 1 时，相应的可用于 SEG 输出的引脚均作 SEG 输出用。

- 当 LCDTYPE=0 时，将 SegCtrl0（0x2C1F）的 bit1 和 bit0 均置 1，则相应引脚作 SEG0 和 SEG1 用。当 LCDTYPE≠0 时，相应引脚作 COM4 和 COM5 用。

- 当 LCDTYPE=0 或 1 时，将 SegCtrl1 (0x2C20) 的 bit1 和 bit0 置 1，相应引脚作 SEG8 和 SEG9 用。当 LCDTYPE=2 或 3 时，相应引脚作 COM6 和 COM7 用。
- 当用于外部直流信号测量输入 (M0/M1/M2) 时，寄存器 SegCtrl4 (0x2C23) 的 bit7~bit5 必须置 0，关闭这三个引脚上的 SEG 输出；当它们用于 SEG 输出 (SEG37/SEG38/SEG39) 时，仅需将寄存器 SegCtrl4 (0x2C23) 的 bit7~bit5 置 1 开启这三个引脚上的 SEG 输出功能即可。
- 当与 GPIO 口复用的引脚作 SEG 输出或 COM 口用时，对应引脚的 GPIO 输入/输出使能寄存器必须配置为屏蔽输入，同时禁止输出，详见表 16-1。
- SEG36 仅具备 SEG 输出功能，所以将寄存器 SegCtrl4 (0x2C23) 的 bit4 置 1 开启这个引脚上的 SEG 输出功能即可。

表 16-1 SEG/COM 相关多功能复用引脚寄存器配置

寄存器		配置	引脚	SEG/COM
0x28B4	P3 输出使能寄存器 (P3OE)	0xFF	P3.0~P3.3/COM0~COM3	COM0~COM3
0x28B5	P3 输入使能寄存器 (P3IE)	0x00		
0x28B8	P4 输出使能寄存器 (P4OE)	0xFF	P4.0/SEG0/COM4 P4.1/SEG1/COM5	当 LCDTYPE=0 时，P4.0 与 P4.1 作 SEG0 和 SEG1 用；
0x28B9	P4 输入使能寄存器 (P4IE)	0x00	P4.2~P4.7/SEG2~SEG7	当 LCDTYPE=1 时，P4.0 和 P4.1 作 COM4 和 COM5 用。 SEG2~SEG7
0x28BC	P5 输出使能寄存器 (P5OE)	0xFF	P5.0/SEG8/COM6 P5.1/SEG9/COM7	当 LCDTYPE=0 或 1 时，P5.0 与 P5.1 作 SEG8 和 SEG9 用；
0x28BD	P5 输入使能寄存器 (P5IE)	0x00	P5.2~P5.7/SEG10~SEG15	当 LCDTYPE=2 或 3 时，P5.0 和 P5.1 作 COM6 和 COM7 用。 SEG10~SEG15
0x28C0	P6 输出使能寄存器 (P6OE)	0xFF	P6.0~P6.7/SEG16~SEG23	SEG16~SEG23
0x28C1	P6 输入使能寄存器 (P6IE)	0x00		
0x28D5	P7 输出使能寄存器 (P7OE)	0xFF	P7.0~P7.7/SEG24~SEG31	SEG24~SEG31
0x28D6	P7 输入使能寄存器 (P7IE)	0x00		
0x28D9	P8 输出使能寄存器 (P8OE)	0xFF	P8.0~P8.2/SEG32~SEG34	SEG32~SEG34
0x28DA	P8 输入使能寄存器 (P8IE)	0x00		
SFR 0xA4	P9 输出使能寄存器 (P9OE SFR)	0xFF	P9.0/TA0/SEG35	SEG35
SFR 0xA5	P9 输入使能寄存器 (P9IE SFR)	0x00		

## 16.3 时序产生电路

LCD 时序产生电路使用时钟 3 作为时钟源，而时钟 3 的时钟源为 OSC 时钟，当晶体停振时，内置的 RC 时钟将作为 OSC 时钟（时钟 3）的时钟源。因为时钟 3 的时钟源始终工作，所以，未关闭时钟 3 时，即使在深睡眠或浅睡眠状态下，LCD 驱动电路仍然可以工作。

用户可通过配置时钟切换控制寄存器（SysCtrl SFR, SFR 0x80）中的 LCDG 位（bit3）关闭时钟 3，从而关闭 LCD 时序产生电路。

表 16-2 关闭 LCD 驱动电路时钟源

寄存器	位	默认值	功能说明
SysCtrl, SFR 0x80	bit3 LCDG	0	开关 LCD 时钟源（时钟 3） 0, 开启；1, 关闭。 当时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 PLL 输出时，时钟 3 才可被关闭。

如图图 16-1 所示，时钟 3 经过分频电路后，产生 LCD 波形扫描频率（f<sub>LCD</sub>），用户可通过寄存器 LCDCtrl（0x2C1E）中的 FRQ1/FRQ0（bit[1:0]）选择合适的波形扫描频率。默认波形扫描频率为 64Hz。

## 16.4 LCD 驱动电压

V99XX 中，LCD 驱动电路由 LDO33 输出经内部调整后所提供的电压（VLCD）供电，并通过内部分压电阻网络产生 LCD 偏置电压，用于产生 LCD 驱动波形。

在 V99XX 中，用户可通过寄存器 CtrlLCDV(0x285E)的 bit2 和 LDO33 输出进行 VLCD 的调整：

$$VLCD = [VLCD] \times \frac{[LDO3SEL < 1:0 >]}{3.3} \quad \text{公式 16-1}$$

其中：

VLCD 表示 LCD 的驱动电压；

[LDO3SEL<1:0>]是 LDO3SEL<1:0>位（bit[4:3]，CtrlLDO, 0x2866）配置对应的 LDO33 输出电压；

[VLCD]是与 VLCD 位（bit2，CtrlLCDV, 0x285E）配置对应的电压值。

发生 POR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，VLCD 的值为 3.3V。

表 16-3 不同的[LDO3SEL<1:0>]和[VLCD]对应的 VLCD 值

[LDO3SEL<1:0>]		3.4V	3.3V	3.2V	3.1V
[VLCD]	3.3V	3.4V	3.3V	3.2V	3.1V
	3.0V	3.1V	3.0V	2.9V	2.8V

## 16.5 LCD 驱动方式

LCD 驱动电路内置一个由 4 个串联的分压电阻组成的偏置电压产生电路。LDO33 输出电压经过该偏置电压产生电路处理后得到各种偏置电压。

在 1/4 Duty 或 1/6 Duty 模式下，芯片只能采用 1/3 Bias 偏置模式。

在 1/8 Duty 模式下，用户可通过配置 LCDMOD 位（bit3，CtrlBAT, 0x285C）开启或关闭一个电阻，从而实现 1/3 Bias 和 1/4 Bias 偏置模式间的切换。



图 16-2 LCD 驱动波形 (1/4 Duty, 1/3Bias) 示例

当 LCDTYPE=1 时, V99XX 支持 6COM 的 LCD 驱动模式, **错误!未找到引用源。**所示为[1/6 Duty, 1/3 Bias]的 LCD 驱动波形 (示例)。

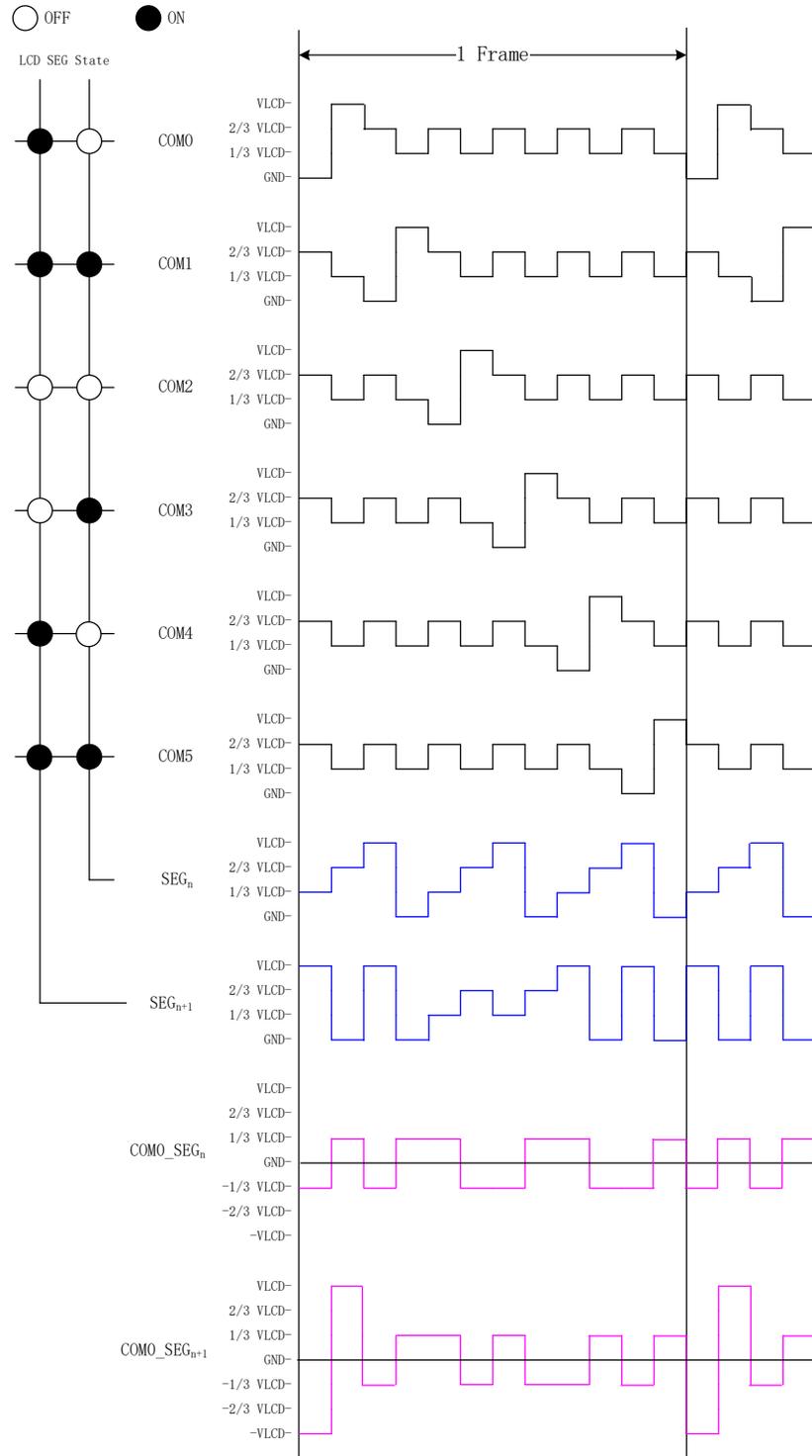


图 16-3 LCD 驱动波形 (1/6 Duty, 1/3Bias) 示例

当 LCDTYPE=2 或 3 时, V99XX 支持 8COM 的 LCD 驱动模式。**错误!未找到引用源。**所示为[1/8 Duty, 1/3 Bias]的 LCD 驱动波形 (示例); **错误!未找到引用源。**所示为[1/8 Duty, 1/4 Bias]的 LCD 驱动波形 (示例)。

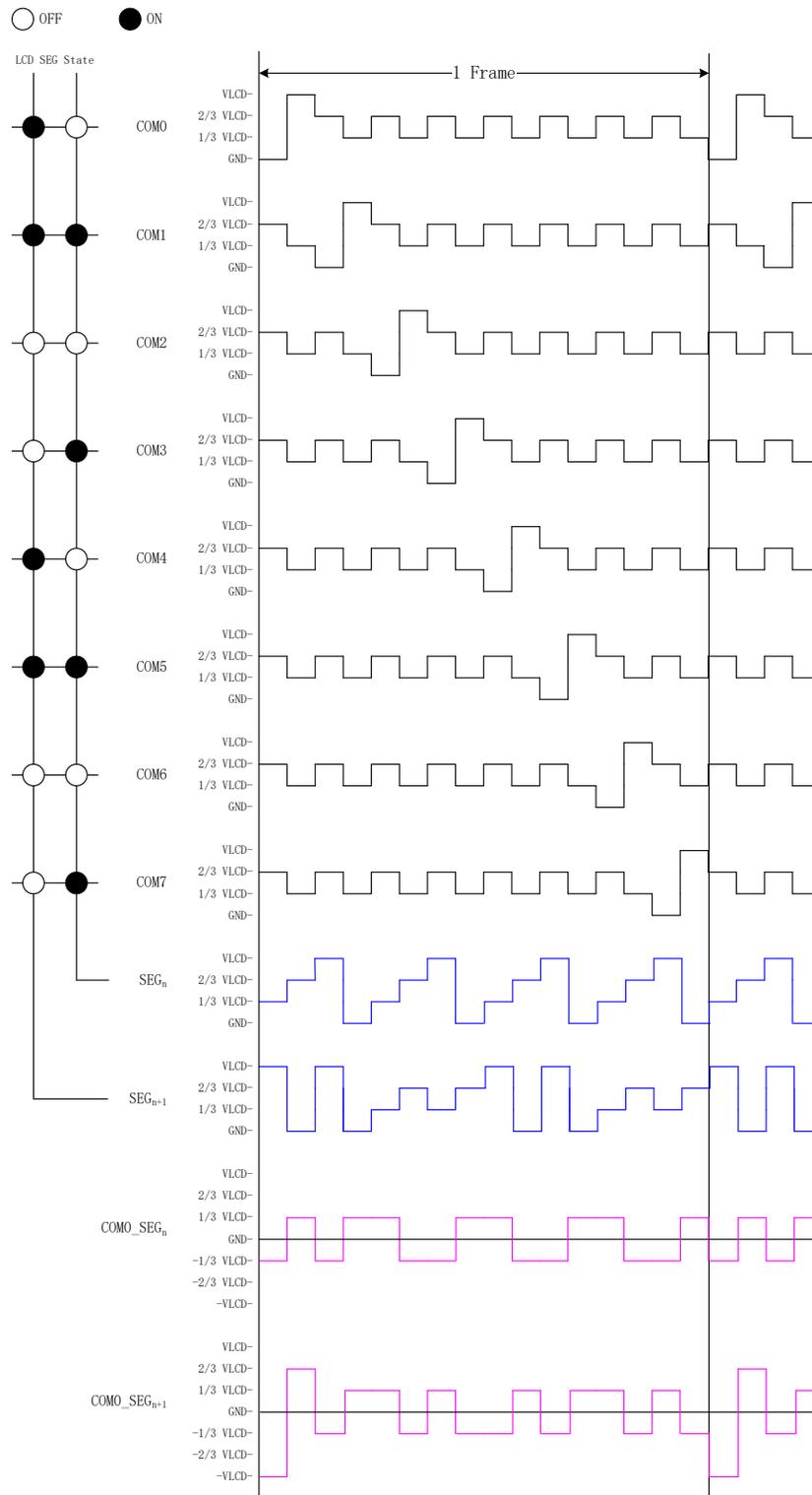


图 16-4 LCD 驱动波形 (1/8 Duty, 1/3Bias) 示例

下图为[1/8Duty, 1/4Bias]的 LCD 驱动波形 (示例)

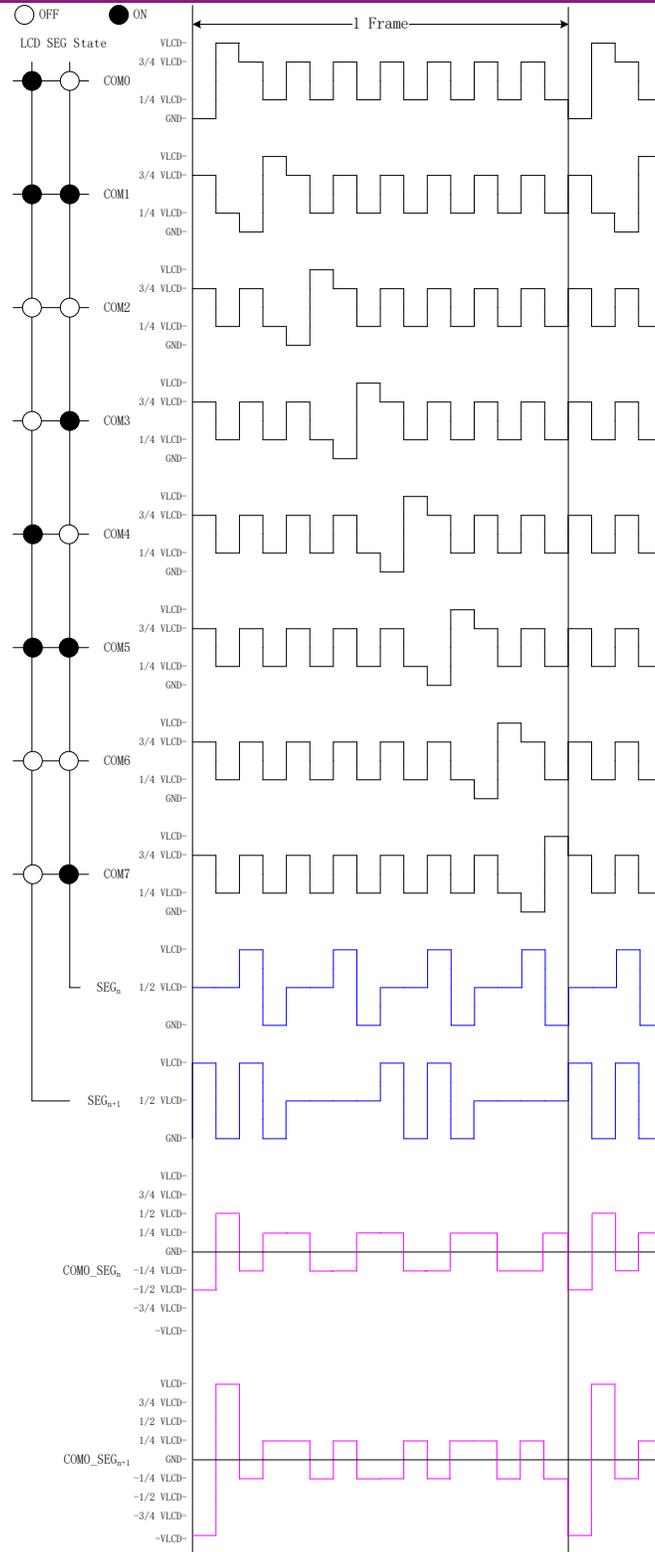


图 16-5 LCD 驱动波形（1/8 Duty, 1/4 Bias）示例

## 16.6 LCD 工作电流

用户可通过寄存器 LCDCtrl (0x2C1E) 中的 DRV1/DRV0 (bit[3:2]) 配置电阻分压网络中的各分压电阻的阻值, 改变流过该网络的电流大小, 从而调整液晶屏显示亮度。

发生 POR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时, 该网络中各分压电阻的阻值为 300kΩ。

## 16.7 LCD 显示缓冲寄存器

在 V99XX 中, 数据存储空间的 0x2C00~0x2C1D 和 0x2C28~0x2C31 为显示缓冲寄存器, 用于存储显示在 LCD 液晶屏上的内容。当模拟驱动电路开启时, 即寄存器 LCDCtrl (0x2C1E) 中的 ON/OFF 位 (bit7) 置 1 时, 更新显示缓冲寄存器的内容, LCD 屏上即实时更新数据; 当模拟驱动电路关闭时, 即寄存器 LCDCtrl (0x2C1E) 中的 ON/OFF 位 (bit7) 清零时, LCD 屏无法显示显示缓冲寄存器中的内容。

发生 POR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时, LCD 模拟驱动电路被关闭, 显示缓冲寄存器被清空。

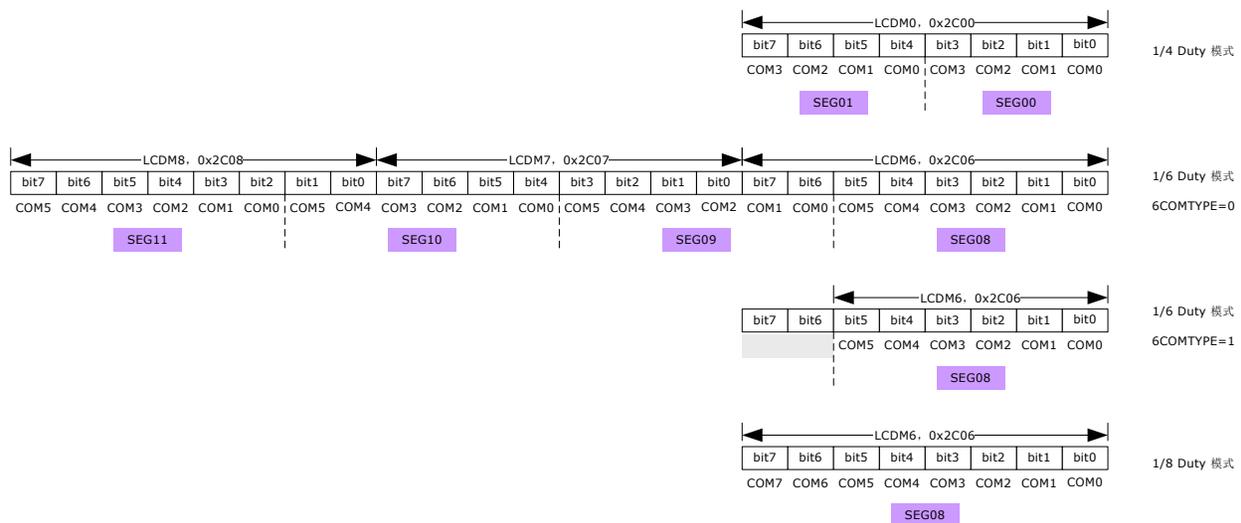


图 16-6 不同模式下, LCD 显示缓冲寄存器每个字节对应的段内容 (示例)

当 LCDTYPE=0 (bit[5:4], LCDCtrl, 0x2C1E) 时, LCD 两个段位 (Seg) 显示显示缓冲寄存器中的一个字节的内容: Seg (n) 对应低 4 位, Seg (n+1) 对应高 4 位, 如图 16-6 中 “1/4 Duty 模式” 所示。

表 16-4 1/4 Duty 模式下 SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
			COM3	COM2	COM1	COM0	COM3	COM2	COM1	COM0
0x2C00	LCDM0	S01 S00	SEG01				SEG00			
0x2C01	LCDM1	S03 S02	SEG03				SEG02			
0x2C02	LCDM2	S05 S04	SEG05				SEG04			
0x2C03	LCDM3	S07 S06	SEG07				SEG06			
0x2C04	LCDM4	S09 S08	SEG09				SEG08			

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
			COM3	COM2	COM1	COM0	COM3	COM2	COM1	COM0
0x2C05	LCDM5	S11 S10	SEG11				SEG10			
0x2C06	LCDM6	S13 S12	SEG13				SEG12			
0x2C07	LCDM7	S15 S14	SEG15				SEG14			
0x2C08	LCDM8	S17 S16	SEG17				SEG16			
0x2C09	LCDM9	S19 S18	SEG19				SEG18			
0x2C0A	LCDM10	S21 S20	SEG21				SEG20			
0x2C0B	LCDM11	S23 S22	SEG23				SEG22			
0x2C0C	LCDM12	S25 S24	SEG25				SEG24			
0x2C0D	LCDM13	S27 S26	SEG27				SEG26			
0x2C0E	LCDM14	S29 S28	SEG29				SEG28			
0x2C0F	LCDM15	S31 S30	SEG31				SEG30			
0x2C10	LCDM16	S33 S32	SEG33				SEG32			
0x2C11	LCDM17	S35 S34	SEG35				SEG34			
0x2C12	LCDM18	S37 S36	SEG37				SEG36			
0x2C13	LCDM19	S39 S38	SEG39				SEG38			

在寄存器 LCDCtrl (0x2C1E) 中, 当 LCDTYPE=1 时, LCD 驱动电路工作于 1/6 Duty 模式下。如图 16-6 所示, 1/6 Duty 模式下, 用户可以配置 6COMTYPE 位 (bit6, 0x2C1E) 选择显存映射方式。当 6COMTYPE=0 时, 每 3 个显示缓冲寄存器存储 4 个 LCD 段位 (Seg) 的内容, 如, Seg08 对应的是寄存器 LCDM6 (0x2C06) 的 bit[5:0] 的内容, Seg09 对应的是寄存器 LCDM6 (0x2C06) 的 bit[7:6] 和 LCDM7 (0x2C07) 的 bit[3:0] 的内容, 依次类推; 当 6COMTYPE=1 时, 每个显示缓冲寄存器的 bit[5:0] 存储一个 LCD 段位 (Seg) 的内容, 而 bit[7:6] 未使用。

表 16-5 1/6 Duty 模式下, 6COMTYPE=0 时, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C01	LCDM1	S02 --	SEG02							
0x2C02	LCDM2	S03 S02	SEG03						SEG02	
0x2C03	LCDM3	S05 S04	SEG05		SEG04					
0x2C04	LCDM4	S06 S05	SEG06				SEG05			
0x2C05	LCDM5	S07 S06	SEG07						SEG06	
0x2C06	LCDM6	S09 S08	SEG09		SEG08					
0x2C07	LCDM7	S10 S09	SEG10				SEG09			
0x2C08	LCDM8	S11 S10	SEG11						SEG10	
0x2C09	LCDM9	S13 S12	SEG13		SEG12					
0x2C0A	LCDM10	S14 S13	SEG14				SEG13			
0x2C0B	LCDM11	S15 S14	SEG15						SEG14	

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C0C	LCDM12	S17 S16	SEG17		SEG16					
0x2C0D	LCDM13	S18 S17	S18				S17			
0x2C0E	LCDM14	S19 S18	SEG19						SEG18	
0x2C0F	LCDM15	S21 S20	SEG21		SEG20					
0x2C10	LCDM16	S22 S21	SEG22				SEG21			
0x2C11	LCDM17	S23 S22	SEG23						SEG22	
0x2C12	LCDM18	S25 S24	SEG25		SEG24					
0x2C13	LCDM19	S26 S25	SEG26				SEG25			
0x2C14	LCDM20	S27 S26	SEG27						SEG26	
0x2C15	LCDM21	S29 S28	SEG29		SEG28					
0x2C16	LCDM22	S30 S29	SEG30				SEG29			
0x2C17	LCDM23	S31 S30	SEG31						SEG30	
0x2C18	LCDM24	S33 S32	SEG33		SEG32					
0x2C19	LCDM25	S34 S33	SEG34				SEG33			
0x2C1A	LCDM26	S35 S34	SEG35						SEG34	
0x2C1B	LCDM27	S37 S36	SEG37		SEG36					
0x2C1C	LCDM28	S38 S37	SEG38				SEG37			
0x2C1D	LCDM29	S39 S38	SEG39						SEG38	

表 16-6 1/6 Duty 模式下, 6COMTYPE=1 时, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C02	LCDM2	S02	-	-	SEG02					
0x2C03	LCDM3	S03	-	-	SEG03					
0x2C04	LCDM4	S04	-	-	SEG04					
0x2C05	LCDM5	S05	-	-	SEG05					
0x2C06	LCDM6	S06	-	-	SEG06					
0x2C07	LCDM7	S07	-	-	SEG07					
0x2C08	LCDM8	S08	-	-	SEG08					
0x2C09	LCDM9	S09	-	-	SEG09					
0x2C0A	LCDM10	S10	-	-	SEG10					
0x2C0B	LCDM11	S11	-	-	SEG11					
0x2C0C	LCDM12	S12	-	-	SEG12					
0x2C0D	LCDM13	S13	-	-	SEG13					
0x2C0E	LCDM14	S14	-	-	SEG14					

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C0F	LCDM15	S15	-	-	SEG15					
0x2C10	LCDM16	S16	-	-	SEG16					
0x2C11	LCDM17	S17	-	-	SEG17					
0x2C12	LCDM18	S18	-	-	SEG18					
0x2C13	LCDM19	S19	-	-	SEG19					
0x2C14	LCDM20	S20	-	-	SEG20					
0x2C15	LCDM21	S21	-	-	SEG21					
0x2C16	LCDM22	S22	-	-	SEG22					
0x2C17	LCDM23	S23	-	-	SEG23					
0x2C18	LCDM24	S24	-	-	SEG24					
0x2C19	LCDM25	S25	-	-	SEG25					
0x2C1A	LCDM26	S26	-	-	SEG26					
0x2C1B	LCDM27	S27	-	-	SEG27					
0x2C1C	LCDM28	S28	-	-	SEG28					
0x2C1D	LCDM29	S29	-	-	SEG29					
0x2C28	LCDM30	S30	-	-	SEG30					
0x2C29	LCDM31	S31	-	-	SEG31					
0x2C2A	LCDM32	S32	-	-	SEG32					
0x2C2B	LCDM33	S33	-	-	SEG33					
0x2C2C	LCDM34	S34	-	-	SEG34					
0x2C2D	LCDM35	S35	-	-	SEG35					
0x2C2E	LCDM36	S36	-	-	SEG36					
0x2C2F	LCDM37	S37	-	-	SEG37					
0x2C30	LCDM38	S38	-	-	SEG38					
0x2C31	LCDM39	S39	-	-	SEG39					

在寄存器 LCDCtrl (0x2C1E) 中, 当 LCDTYPE=2 或 3 时, LCD 驱动电路工作于 1/8 Duty 模式下。如图 16-6 中的“1/8 Duty 模式”所示, 1/8 Duty 模式下, 每个显示缓冲寄存器存储一个 LCD 段位 (Seg) 的内容。

表 16-7 1/8 Duty 模式下, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C02	LCDM2	S02	SEG02							
0x2C03	LCDM3	S03	SEG03							
0x2C04	LCDM4	S04	SEG04							
0x2C05	LCDM5	S05	SEG05							

地址	寄存器	SEG	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0x2C06	LCDM6	S06								SEG06
0x2C07	LCDM7	S07								SEG07
0x2C0A	LCDM10	S10								SEG10
0x2C0B	LCDM11	S11								SEG11
0x2C0C	LCDM12	S12								SEG12
0x2C0D	LCDM13	S13								SEG13
0x2C0E	LCDM14	S14								SEG14
0x2C0F	LCDM15	S15								SEG15
0x2C10	LCDM16	S16								SEG16
0x2C11	LCDM17	S17								SEG17
0x2C12	LCDM18	S18								SEG18
0x2C13	LCDM19	S19								SEG19
0x2C14	LCDM20	S20								SEG20
0x2C15	LCDM21	S21								SEG21
0x2C16	LCDM22	S22								SEG22
0x2C17	LCDM23	S23								SEG23
0x2C18	LCDM24	S24								SEG24
0x2C19	LCDM25	S25								SEG25
0x2C1A	LCDM26	S26								SEG26
0x2C1B	LCDM27	S27								SEG27
0x2C1C	LCDM28	S28								SEG28
0x2C1D	LCDM29	S29								SEG29
0x2C28	LCDM30	S30								SEG30
0x2C29	LCDM31	S31								SEG31
0x2C2A	LCDM32	S32								SEG32
0x2C2B	LCDM33	S33								SEG33
0x2C2C	LCDM34	S34								SEG34
0x2C2D	LCDM35	S35								SEG35
0x2C2E	LCDM36	S36								SEG36
0x2C2F	LCDM37	S37								SEG37
0x2C30	LCDM38	S38								SEG38
0x2C31	LCDM39	S39								SEG39

## 16.8 LCD 驱动电路相关寄存器

表 16-8 显示控制寄存器 (LCDCtrl, 0x2C1E)

0x2C1E, R/W, 显示控制寄存器, LCDCtrl			
位		默认值	说明
Bit7	ON/OFF	0	开启/关闭 LCD 模拟驱动电路。 1: 开启, 模拟驱动电路向 COM 口和 SEG 口输出相应的信号, 否则输出高阻。
Bit6	6COMTYPE	0	在 6COM 模式下, 选择显存映射方式。 0: LCD 每 1 个段位 (Seg) 对应显示缓冲寄存器中 6-bit 的内容; 1: LCD 每 1 个段位 (Seg) 对应显示缓冲寄存器中 1 字节的内容。
Bit[5:4]	LCDDTYPE	0	LCD 模式选择。 00: 4COM 模式; 01: 6COM 模式; 10/11: 8COM 模式。
Bit[3:2]	DRV1/DRV0	0	设置内部分压电阻网络中每个分压电阻的阻值。 00: 300kΩ; 01: 600kΩ; 10: 150kΩ; 11: 200kΩ
Bit[1:0]	FRQ1/FRQ0	0	设置扫描频率。 11: 512Hz; 10: 256Hz; 01: 128Hz; 00: 64Hz

表 16-9 LCD 时钟源控制相关寄存器

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR			
位		默认值	功能说明
Bit3	LCDG	0	开关 LCD 时钟（时钟 3）。 0, 开启；1, 关闭。 当时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 PLL 时钟时，时钟 3 才可被关闭。

表 16-10 LCD 驱动电压控制相关寄存器（1）

0x285E, R/W, LCD 驱动电压控制寄存器, CtrlLCDV			
位		默认值	功能说明
bit7	DCENN	0	默认在电流通道输入端增加 10mV 直流失调。该位置 1 时禁止该功能。为保证系统正常工作，必须保证为 0。
Bit[6:3]	保留	0	为保证系统正常工作，必须保证为 0。
Bit2	VLCD	0	液晶驱动电压调整。 0: 3.3V; 1: 3.0V。
bit[1:0]	保留	0	为保证系统正常工作，必须保证为 0。

表 16-11 LCD 驱动电压控制相关寄存器（2）

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO			
位		默认值	功能说明
bit7	LDO33PD	0	LDO33 开关。 1: 关闭。 0: 开启。 在电池供电时将该位置 1 关闭 LDO33，可节省 1uA 功耗。
Bit6	LDO3IT	0	LDO33 偏置电流调节。 1: 增加 100% 偏置电流。
Bit5	保留	0	为保证系统正常工作，必须保证为 0。
Bit[4:3]	LDO3SEL<1:0>	0	LDO33 输出电压调节。 00: 不调整； 01: +0.1V； 11: -0.1V； 10: -0.2V；
Bit2	保留	0	为保证系统正常工作，必须保证为 0。

0x2866, R/W, LDO 控制寄存器, CtrlLDO

位		默认值	功能说明
bit[1:0]	LDOVSEL<1:0>	0	1.8V LDO 输出电压调节。 00: 不调整; 01: +0.1V; 11: -0.1V; 10: -0.2V;

表 16-12 偏置电压模式选择相关寄存器

0x285C, R/W, 电池放电控制寄存器, CtrlBAT

位		默认值	功能说明
bit[7:4]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须保证为 0。
Bit3	LCDBMOD	0	当 LCD 驱动电路采用 8COM 模式时, 选择 Bias 模式。 0: 1/3 Bias; 1: 1/4 Bias。 当 LCD 驱动电路采用 4COM 或 6COM 模式时, 无论该位配置为何值, 均采用 1/3Bias 模式。
Bit[2:1]	IITU<1:0>	0	电压通道 ADC 放大器偏置电流调整。 00: 0%; 01: -33%; 11: +33%; 10: +100%。
Bit0	BATDISC	0	使能系统供电电池放电。默认为 0。 1: 使能。

表 16-13 SEG 开关控制寄存器 (R/W)

寄存器		bit7	bit6	bit5	Bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
0x2C1F	SegCtrl0	SEGON7	SEGON6	SEGON5	SEGON4	SEGON3	SEGON2	SEGON1	SEGON0
0x2C20	SegCtrl1	SEGON15	SEGON14	SEGON13	SEGON12	SEGON11	SEGON10	SEGON9	SEGON8
0x2C21	SegCtrl2	SEGON23	SEGON22	SEGON21	SEGON20	SEGON19	SEGON18	SEGON17	SEGON16
0x2C22	SegCtrl3	SEGON31	SEGON30	SEGON29	SEGON28	SEGON27	SEGON26	SEGON25	SEGON24
0x2C23	SegCtrl4	SEGON39	SEGON38	SEGON37	SEGON36	SEGON35	SEGON34	SEGON33	SEGON32
默认值		0	0	0	0	0	0	0	0

0, 关闭 SEG 输出; 1, 开启 SEG 输出。关闭相应引脚的 SEG 输出功能后, 该引脚可以作为 GPIO 或 M 通道测量外部直流信号用。

当 LCDTYPE=0 (bit[5:4], LCDCtrl, 0x2C1E) 时, 配置 SegCtrl0 和 SegCtrl1 中的 bit[1:0]均有效。

寄存器	bit7	bit6	bit5	Bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
-----	------	------	------	------	------	------	------	------

当 LCDTYPE=1 时，配置 SegCtrl1 中的 bit[1:0]有效，而配置 SegCtrl0 中的 bit[1:0]无效。

当 LCDTYPE=2 或 3 时，配置 SegCtrl0 和 SegCtrl1 中的 bit[1:0]均无效。

## 第17章 GPIO

V99XX 最多实现了 P0~P10 共 11 组 I/O 端口，其中：

不使用 P0~P8 所有端口时，用户可通过配置 POP8 位（bit3，PRCtrl0，0x2D00）使 P0~P8 所有端口停止工作，以降低功耗。如果先将各个 I/O 端口配置为特殊功能，再将 POP8 位置 1，不影响这些特殊功能的使用。

当输入使能时，用户总是可以通过输入数据寄存器读到 I/O 端口上的状态，不受特殊功能设置影响。I/O 端口上的状态变化会引起该寄存器值的变化，使功耗加大。在不需要读取输入数据的情况下，建议禁止输入，从而降低功耗。

- P3 为普通 GPIO 口与 LCD 驱动电路的 COM 口复用，P4~P5 为普通 GPIO 口与 LCD 驱动电路的 COM 口/SEG 口复用；P6~P8 为普通 GPIO 口与 LCD 驱动电路的 SEG 输出端口复用；
- P9、P10 为快速访问 GPIO 口，当 MCU 时钟频率为 13.1072MHz 时，端口的 IO 翻转速率约为 200kbps。这些端口可与特殊功能端口复用；
- I/O 端口具有如下特点：不使用某组 GPIO 端口时，用户可通过门控此端口以降低功耗。其中，普通 GPIO 端口（P0~P8）使用同一控制位；快速 GPIO 口（P9 和 P10）拥有各自独立的控制位。
- 发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时，IO 控制寄存器被复位。复位后，如果程序不改变 IO 控制寄存器的配置，所有 I/O 端口处于禁止输出/屏蔽输入的状态；
- 系统进入浅睡眠或者深睡眠状态后，I/O 端口保持此前的状态不变；
- 所有 I/O 端口内部均没有上拉/下拉电阻。

### 17.1 P0

P0 组最多包括 4 个 I/O 端口。

当 MODE1 引脚接低电平时，P0 作 JTAG 端口使用。此时，P0.0 为 TDO，P0.1 为 TDI，P0.2 为 TMS，P0.3 为 TCK，其中，TDO 固定为输出，TDI/TMS/TCK 固定为输入。

当 MODE1 引脚接高电平时，芯片处于正常工作模式，P0 输入使能寄存器和输出使能寄存器决定 P0 的每一个 I/O 端口的输入与输出。

另外，用户可通过配置 IOP0 位（bit1，IOWK，SFR 0xC9）决定 P0.3 和 P0.2 是否用于 IO 休眠唤醒输入。关于 IO 休眠唤醒，详见“IO 休眠唤醒复位”。

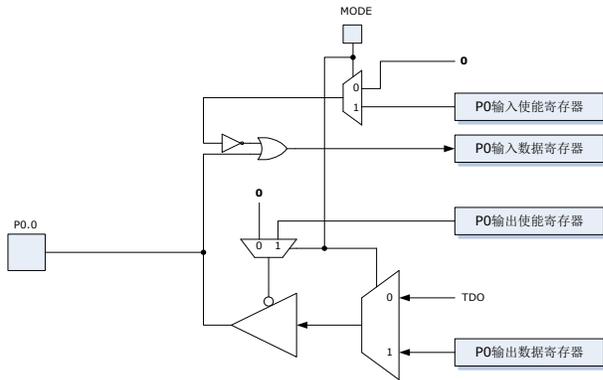


图 17-1 P0.0 端口的结构框图

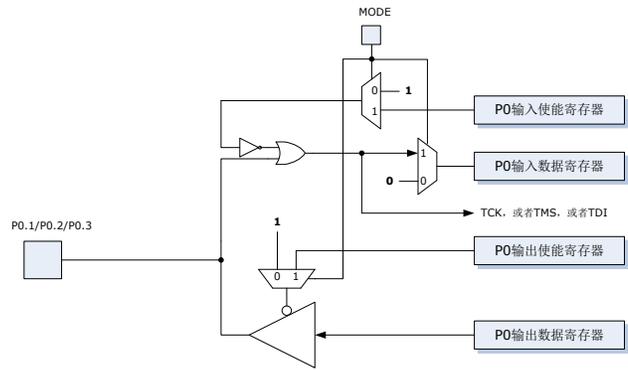


图 17-2 P0.1/P0.2/P0.3 端口的结构框图

表 17-1 P0 输出使能寄存器 (P0OE, 0x28A8)

0x28A8, R/W, P0 输出使能寄存器, P0OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	P03OEN	P02OEN	P01OEN	P00OEN
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-2 P0 输入使能寄存器 (P0IE, 0x28A9)

0x28A9, R/W, P0 输入使能寄存器, P0IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	P03INEN	P02INEN	P01INEN	P00INEN
默认值	-	-	-	-	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-3 P0 输出数据寄存器 (P0OD, 0x28AA)

0x28AA, R/W, P0 输出数据寄存器, P0OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

表 17-4 P0 输入数据寄存器 (P0ID, 0x28AB)

0x28AB, R/W, P0 输入数据寄存器, P0ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

## 17.2 P1

P1 组最多包括 5 个 I/O 端口。

P1 输入和输出使能寄存器决定 P1 的每一个 I/O 端口的输入与输出。当 P1 的各个 I/O 端口作特殊功能用时，其功能由相对应的特殊功能选择寄存器决定。

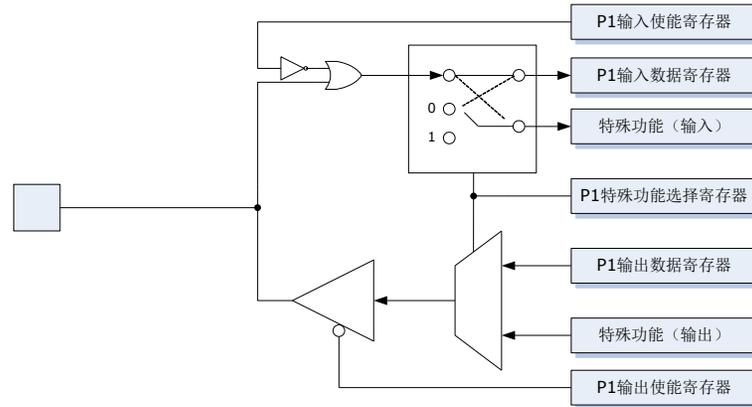


图 17-3 P1 端口的结构框图

在进入休眠前，将端口 P1.3 或 P1.4 配置为输入使能。在浅睡眠或者深睡眠状态下，当任一 IO 端口上发生电平的跳变（唤醒边沿可配置，跳变的高低电平需各自持续至少 4 个 OSC 时钟周期）均可将系统从休眠状态唤醒。关于 IO 休眠唤醒，详见“IO 休眠唤醒复位”。

表 17-5 P1 输出使能寄存器 (P1OE, 0x28AC)

0x28AC, R/W, P1 输出使能寄存器, P1OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	P14OEN	P13OEN	P12OEN	P11OEN	P10OEN
默认值	-	-	-	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-6 P1 输入使能寄存器 (P1IE, 0x28AD)

0x28AD, R/W, P1 输入使能寄存器, P1IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	P14INEN	P13INEN	P12INEN	P11INEN	P10INEN
默认值	-	-	-	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-7 P1 输出数据寄存器 (P1OD, 0x28AE)

0x28AE, R/W, P1 输出数据寄存器, P1OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0

0x28AE, R/W, P1 输出数据寄存器, P1OD

	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	1	1	1	1	1

表 17-8 P1 输入数据寄存器 (P1ID, 0x28AF)

0x28AF, R/W, P1 输入数据寄存器, P1ID

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	1	1	1	1	1

表 17-9 P1.0 功能选择寄存器 (P10FS, 0x28C4, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P10FNC1 P10FNC0	0	00, GPIO; 01, SP, RTC 秒脉冲输出。每 30s 内, 第 1~29s, 每秒钟输出一个未校正的秒脉冲, 第 30s 输出一个校正过的秒脉冲, 从而使 30s 内每个脉冲的平均宽度为 1s。

表 17-10 P1.1 功能选择寄存器 (P11FS, 0x28C5, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:3]	保留	0	
Bit[2:0]	P11FNC2 P11FNC1 P11FNC0	0	000, GPIO; 010, RXD1, UART1 接收数据输入; 011, T1, Timer1 外部输入; 100, 端口中断 2。

表 17-11 P1.2 功能选择寄存器 (P12FS, 0x28C6, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:3]	保留	0	
Bit[2:0]	P12FNC2 P12FNC1 P12FNC0	0	000, GPIO; 001, 保留; 010, TXD1, UART1 发送数据输出; 011, T2EX, Timer2 捕获/重载触发信号输入; 100, 端口中断 3。

表 17-12 P1.3 功能选择寄存器 (P13FS, 0x28C7, R/W)

位		默认值	说明
---	--	-----	----

位		默认值	说明
Bit[7:3]	保留	0	
Bit[2:0]	P13FNC2 P13FNC1 P13FNC0	0	000, GPIO; 001, CF2 脉冲输出; 010, RXD5, UART5 接收数据输入; 011, 端口中断 0; 100, CF1 脉冲输出; 101, SP, RTC 秒脉冲输出。每 30s 内, 第 1~29s, 每秒钟输出一个未校正的秒脉冲, 第 30s 输出一个校正过的秒脉冲, 从而使 30s 内每个脉冲的平均宽度为 1s; 110, PLLDIV, 高频分频后的系统时钟输出, 可用于高频秒脉冲输出。

表 17-13 P1.4 功能选择寄存器 (P14FS, 0x28C8)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P14FNC1 P14FNC0	0	00, GPIO; 01, PLLDIV, 高频分频后的系统时钟输出, 可用于高频秒脉冲输出; 10, TXD5, UART5 发送数据输出; 11, 端口中断 1。

## 17.3 P2

P2 组最多包括 6 个 I/O 端口。

P2 输入和输出使能寄存器决定 P2 的每一个 I/O 端口的输入与输出。当 P2 的各个 I/O 端口作特殊功能用时, 其功能由相对应的特殊功能选择寄存器决定。

在进入休眠前, 将端口 P2.4 配置为输入使能, 并使能该 IO 唤醒。在浅睡眠或者深睡眠状态下, 当端口上发生电平的跳变 (唤醒边沿可配置, 跳变的高低电平需各自持续至少 4 个 OSC 时钟周期) 可将系统从休眠状态唤醒。关于 IO 休眠唤醒, 详见“IO 休眠唤醒复位”。

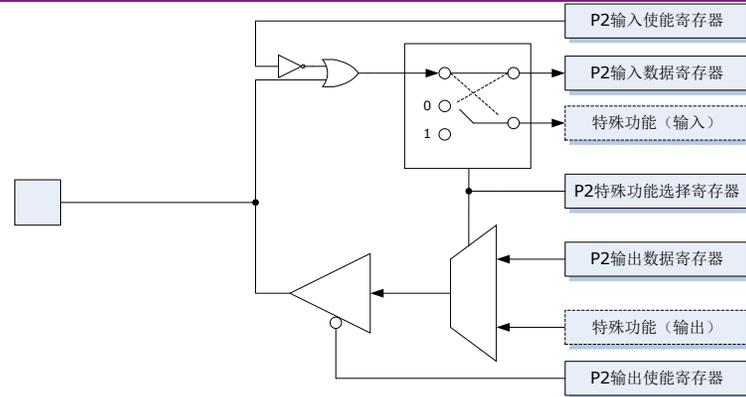


图 17-4 P2 端口的结构框图

表 17-14 P2 输出使能寄存器 (P2OE, 0x28B0)

0x28B0, R/W, P2 输出使能寄存器, P2OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	P25OEN	P24OEN	P23OEN	P22OEN	P21OEN	P20OEN
默认值	-	-	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-15 P2 输入使能寄存器 (P2IE, 0x28B1)

0x28B1, R/W, P2 输入使能寄存器, P2IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	P25INEN	P24INEN	P23INEN	P22INEN	P21INEN	P20INEN
默认值	-	-	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-16 P2 输出数据寄存器 (P2OD, 0x28B2)

0x28B2, R/W, P2 输出数据寄存器, P2OD								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	1	1	1	1	1	1

表 17-17 P2 输入数据寄存器 (P2ID, 0x28B3)

0x28B3, R/W, P2 输入数据寄存器, P2ID								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	1	1	1	1	1	1

表 17-18 P2.0 功能选择寄存器 (P20FS, 0x28C9, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P20FNC1 P20FNC0	0	00, GPIO; 01, OSC, OSC 时钟输出; 10, RXD4, UART4 接收数据输入; 11, T2, Timer2 外部输入。

表 17-19 P2.1 功能选择寄存器 (P21FS, 0x28CA, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P21FNC1 P21FNC0	0	00, GPIO; 01, PLL 时钟输出; 10, TXD4, UART4 发送数据输出; 11, T0, Timer0 外部输入。

表 17-20 P2.2 功能选择寄存器 (P22FS, 0x28CB, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P22FNC1 P22FNC0	0	00, GPIO; 10, RXD3, UART3 接收数据输入; 01/11, 保留。

表 17-21 P2.3 功能选择寄存器 (P23FS, 0x28CC, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P23FNC1 P23FNC0	0	00, GPIO; 10, TXD3, UART3 发送数据输出。

表 17-22 P2.4 功能选择寄存器 (P24FS, 0x28CD, R/W)

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P24FNC1 P24FNC0	0	00, GPIO; 10, RXD2, UART2 接收数据输入。

表 17-23 P2.5 功能选择寄存器 (P25FS, 0x28CE, R/W)

位		默认值	说明

位		默认值	说明
Bit[7:2]	保留	0	
Bit[1:0]	P25FNC1 P25FNC0	0	00, GPIO; 10, TXD2, UART2 发送数据输出, 可以选择发送带有 38kHz 载波的信号。

## 17.4 P3

P3 组最多包括共 4 个 I/O 端口。

当 P3 某个端口作 COM 口用时, P3 输入/输出使能寄存器相应位必须设置为禁止输出, 同时屏蔽输入。

当 P3 某个端口作普通 GPIO 口用时, 必须关闭全部 LCD 模拟驱动电路 (Bit7, LCDCtrl, 0x2C1E)。

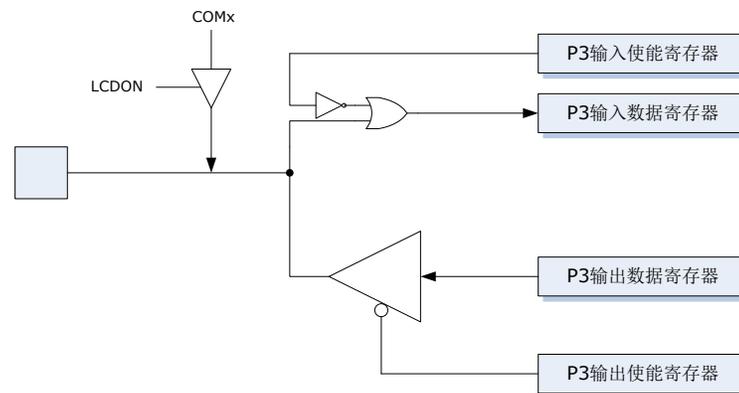


图 17-5 P3 端口的结构框图

表 17-24 P3 输出使能寄存器 (P3OE, 0x28B4)

0x28B4, R/W, P3 输出使能寄存器, P3OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	P33OEN	P32OEN	P31OEN	P30OEN
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-25 P3 输入使能寄存器 (P3IE, 0x28B5)

0x28B5, R/W, P3 输入使能寄存器, P3IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	P33INEN	P32INEN	P31INEN	P30INEN
默认值	-	-	-	-	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-26 P3 输出数据寄存器 (P3OD, 0x28B6)

0x28B6, R/W, P3 输出数据寄存器, P3OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

表 17-27 P3 输入数据寄存器 (P3ID, 0x28B7)

0x28B7, R/W, P3 输入数据寄存器, P3ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	-	1	1	1	1

## 17.5 P4

P4 组最多包括 8 个 IO 口。

当 LCDTYPE=0 时, P4.0 与 P4.1 为普通 GPIO 口与 SEG 输出端口复用; 当 LCDTYPE=1/2/3 时, P4.0 和 P4.1 为普通 GPIO 口与 COM 口复用。P4.2~P4.7 为普通 GPIO 口与 SEG 输出端口复位。

当 P4 某个端口作 SEG 输出口或 COM 口用时, P4 输出/输入使能寄存器的相应位必须设置为禁止输出, 同时屏蔽输入。当 P4 某个端口作普通 GPIO 用时, 必须关闭相应引脚的 SEG 输出功能。

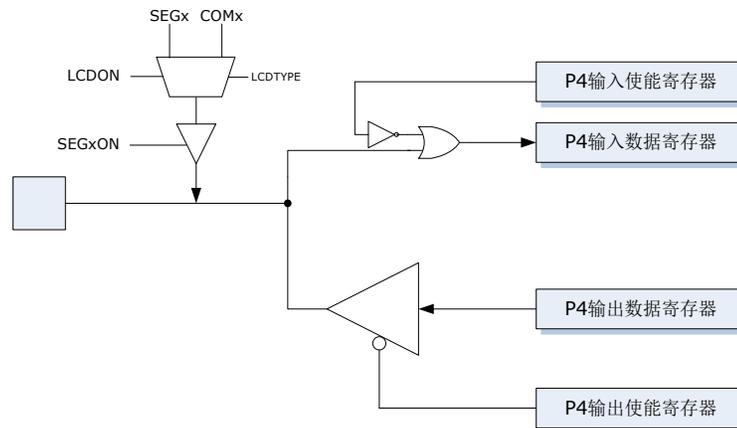


图 17-6 P4 端口的结构框图

表 17-28 P4 输出使能寄存器 (P4OE, 0x28B8)

0x28B8, R/W, P4 输出使能寄存器, P4OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P47OEN	P46OEN	P45OEN	P44OEN	P43OEN	P42OEN	P41OEN	P40OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-29 P4 输入使能寄存器 (P4IE, 0x28B9)

0x28B9, R/W, P4 输入使能寄存器, P4IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P47INEN	P46INEN	P45INEN	P44INEN	P43INEN	P42INEN	P41INEN	P40INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心

表 17-30 P4 输出数据寄存器 (P4OD, 0x28BA)

0x28BA, R/W, P4 输出数据寄存器, P4OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-31 P4 输入数据寄存器 (P4ID, 0x28BB)

0x28BB, R/W, P4 输入数据寄存器, P4ID								
	bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

## 17.6 P5

P5 组最多包括 8 个 I/O 端口。

当 LCDTYPE=0 或 1 时, P5.0 与 P5.1 为普通 GPIO 口与 SEG 输出端口复用; 当 LCDTYPE=2 或 3 时, P5.0 和 P5.1 为普通 GPIO 口与 COM 口复用。P5.2~P5.7 为普通 GPIO 口与 SEG 输出端口复用。

当 P5 端口作 SEG 输出口或 COM 口用时, P5 输出/输入使能寄存器的相应位必须设置为禁止输出, 同时屏蔽输入。当 P5 端口作普通 GPIO 用时, 必须关闭相应引脚的 SEG 输出或 COM 输出功能。

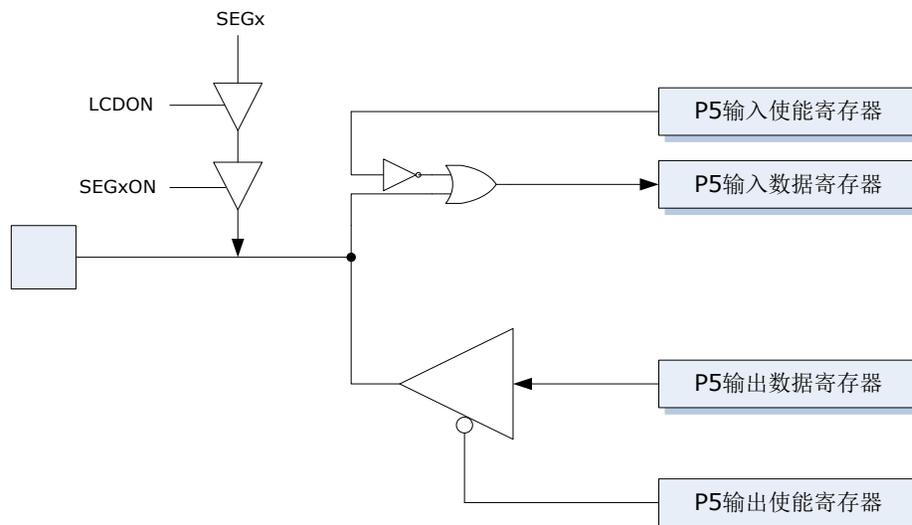


图 17-7 P5 端口的结构框图

表 17-32 P5 输出使能寄存器 (P5OE, 0x28BC)

0x28BC, R/W, P5 输出使能寄存器, P5OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P57OEN	P56OEN	P55OEN	P54OEN	P53OEN	P52OEN	P51OEN	P50OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-33 P5 输入使能寄存器 (P5IE, 0x28BD)

0x28BD, R/W, P5 输入使能寄存器, P5IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P57INEN	P56INEN	P55INEN	P54INEN	P53INEN	P52INEN	P51INEN	P50INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-34 P5 输出数据寄存器 (P5OD, 0x28BE)

0x28BE, R/W, P5 输出数据寄存器, P5OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-35 P5 输入数据寄存器 (P5ID, 0x28BF)

0x28BF, R/W, P5 输入数据寄存器, P5ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

## 17.7 P6

P6 组最多包括 8 个 I/O 端口。

当 P6 某个端口作 SEG 输出端口用时, P6 输出/输入使能寄存器相应位必须设置为禁止输出, 同时屏蔽输入。当 P6 某个端口作普通 GPIO 口用时, 必须关闭相应引脚的 SEG 输出功能。

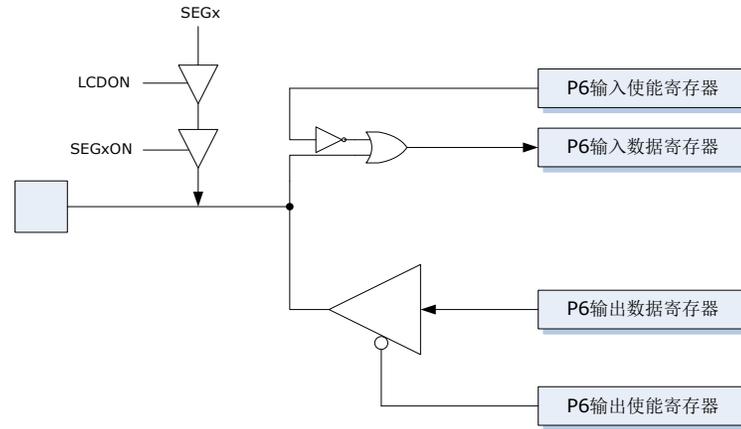


图 17-8 P6 端口的结构框图

表 17-36 P6 输出使能寄存器 (P6OE, 0x28C0)

0x28C0, R/W, P6 输出使能寄存器, P6OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P67OEN	P66OEN	P65OEN	P64OEN	P63OEN	P62OEN	P61OEN	P60OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-37 P6 输入使能寄存器 (P6IE, 0x28C1)

0x28C1, R/W, P6 输入使能寄存器, P6IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P67INEN	P66INEN	P65INEN	P64INEN	P63INEN	P62INEN	P61INEN	P60INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-38 P6 输出数据寄存器 (P6OD, 0x28C2)

0x28C2, R/W, P6 输出数据寄存器, P6OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-39 P6 输入数据寄存器 (P6ID, 0x28C3)

0x28C3, R/W, P6 输入数据寄存器, P6ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

## 17.8 P7

P7 组最多包括 8 个 I/O 端口。

当 P7 某个端口作 SEG 输出端口用时，P7 输出/输入使能寄存器的相应位必须设置为禁止输出，同时屏蔽输入。  
当 P7 某个端口作普通 GPIO 口用时，必须关闭相应引脚的 SEG 输出功能。

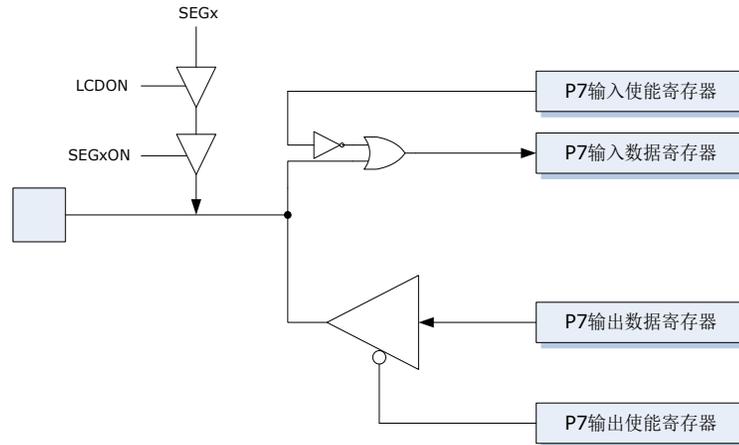


图 17-9 P7 端口的结构框图

表 17-40 P7 输出使能寄存器（P7OE，0x28D5）

0x28D5, R/W, P7 输出使能寄存器, P7OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P77OEN	P76OEN	P75OEN	P74OEN	P73OEN	P72OEN	P71OEN	P70OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出；0, 允许输出；-, 不关心。

表 17-41 P7 输入使能寄存器（P7IE，0x28D6）

0x28D6, R/W, P7 输入使能寄存器, P7IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P77INEN	P76INEN	P75INEN	P74INEN	P73INEN	P72INEN	P71INEN	P70INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入；0, 禁止输入；-, 不关心。

表 17-42 P7 输出数据寄存器（P7OD，0x28D7）

0x28D7, R/W, P7 输出数据寄存器, P7OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-43 P7 输入数据寄存器 (P7ID, 0x28D8)

0x28D8, R/W, P7 输入数据寄存器, P7ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

## 17.9 P8

P8 组最多包括 3 个 I/O 端口。

当 P8 某个端口作 SEG 输出端口用时, P8 输出/输入使能寄存器相应位必须设置为禁止输出, 同时屏蔽输入。当 P8 某个端口作普通 GPIO 口用时, 必须关闭相应引脚的 SEG 输出功能。

表 17-44 P8 输出使能寄存器 (P8OE, 0x28D9)

0x28D9, R/W, P8 输出使能寄存器, P8OE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	P82OEN	P81OEN	P80OEN
默认值	-	-	-	-	-	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-45 P8 输入使能寄存器 (P8IE, 0x28DA)

0x28DA, R/W, P8 输入使能寄存器, P8IE								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-	P82INEN	P81INEN	P80INEN
默认值	-	-	-	-	-	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-46 P8 输出数据寄存器 (P8OD, 0x28DB)

0x28DB, R/W, P8 输出数据寄存器, P8OD								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	-	-	-	-	-			
默认值	-	-	-	-	-	1	1	1

表 17-47 P8 输入数据寄存器 (P8ID, 0x28DC)

0x28DC, R/W, P8 输入数据寄存器, P8ID								
	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	-	-	-	-	-	1	1	1

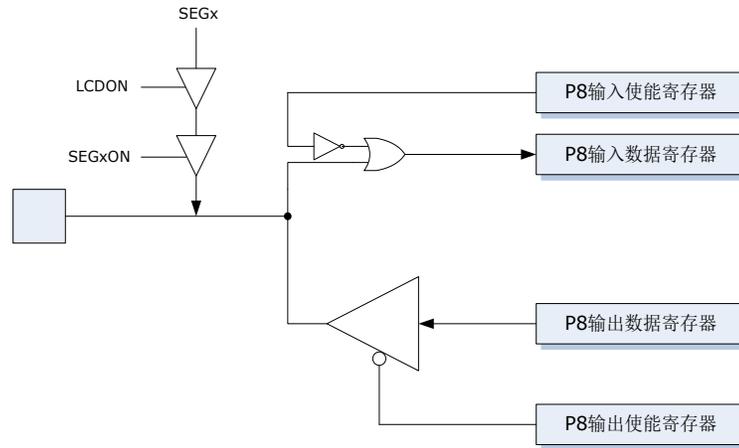


图 17-10 P8 端口的结构框图

## 17.10 P9

P9 组最多包括 8 个 I/O 端口，为可快速访问的 GPIO 口。

P9 的各个 I/O 端口作快速 GPIO 口用时，P9 输入使能寄存器和输出使能寄存器决定 P9 的每一个 I/O 端口的输入与输出。

当 P9 的各个 I/O 端口作特殊功能用时，其功能由相对应的特殊功能选择位决定。另外，P9.1 可用于标准秒信号输入，使用此功能时，P9.1 需要配置成输入使能。

P9.0 能用于 SEG 输出。当 P9.0 作 SEG 输出端口用时，P9 输出/输入使能寄存器相应位必须设置为禁止输出，同时屏蔽输入。当该端口作快速 GPIO 口用时，必须关闭该引脚的 SEG 输出功能。

不使用 P9 所有端口时，用户可通过配置 P9 位 (bit4, PRCtrl0, 0x2D00) 使 P9 所有端口停止工作，以降低功耗。

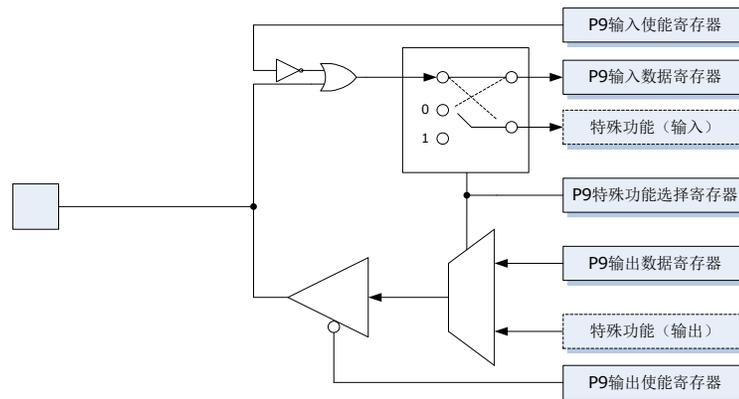


图 17-11 P9 端口的结构框图

表 17-48 P9 输出使能寄存器 (P9OE SFR, SFR 0xA4)

SFR 0xA4, R/W, P9 输出使能寄存器, P9OE SFR								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0

SFR 0xA4, R/W, P9 输出使能寄存器, P9OE SFR

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P97OEN	P96OEN	P95OEN	P94OEN	P93OEN	P92OEN	P91OEN	P90OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-49 P9 输入使能寄存器 (P9IE SFR, SFR 0xA5)

SFR 0xA5, R/W, P9 输入使能寄存器, P9IE

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P97INEN	P96INEN	P95INEN	P94INEN	P93INEN	P92INEN	P91INEN	P90INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-50 P9 输出数据寄存器 (P9OD SFR, SFR 0xA6)

SFR 0xA6, R/W, P9 输出数据寄存器, P9OD SFR

	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-51 P9 输入数据寄存器 (P9ID SFR, SFR 0xA7)

SFR 0xA7, R/W, P9 输入数据寄存器, P9ID SFR

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-52 P9 功能选择寄存器 (P9FS SFR, SFR 0xAD)

位		说明
Bit7	P97FNC	P9.7 功能配置。 1, PWMCLK, 可调整脉冲宽度时钟分频输出; 0, 快速 GPIO 口。
Bit6	P96FNC	P9.6 功能配置。 1, CF1 脉冲输出; 0, 快速 GPIO 口。
Bit5	P95FNC	P9.5 功能配置。 1, CF2 脉冲输出; 0, 快速 GPIO 口。
Bit4	P94FNC	P9.4 功能配置。 1, SP, RTC 秒脉冲输出。每 30s 内, 第 1~29s, 每秒钟输出一个未校正的秒脉冲, 第 30s 输出一个校正过的秒脉冲, 从而使 30s 内每个脉冲的平均宽度为 1s; 0, 快速 GPIO 口。

位		说明
Bit3	P93FNC	P9.3 功能配置。 1, PLLDIV, 高频分频后的系统时钟输出, 可用于高频秒脉冲输出; 0, 快速 GPIO 口。
Bit2	P92FNC	P9.2 功能配置。 1, TA2, TimerA 比较/捕获模块 2 输入/输出, 输入使能; 0, 快速 GPIO 口。
Bit1	P91FNC	P9.1 功能配置。 1, TA1, TimerA 比较/捕获模块 1 输入/输出, 输入使能; 0, 快速 GPIO 口。
Bit0	P90FNC	P9.0 功能配置。 1, TA0, TimerA 比较/捕获模块 0 输入/输出, 输入使能; 0, 快速 GPIO 口。

## 17.11 P10

P10 组最多包括 8 个 I/O 端口, 为可快速访问的 GPIO 口与增强型 UART (EUART) 端口复用,

不使用 P10 所有端口时, 用户可通过配置 P10 位 (bit5, PRCtrl0, 0x2D00) 使 P10 所有端口停止工作, 以降低功耗。

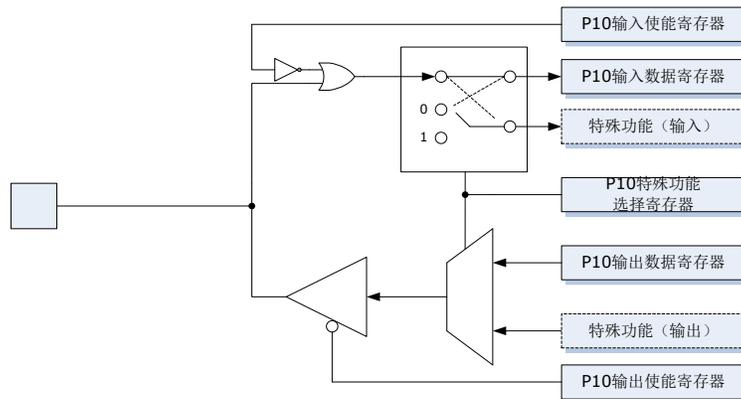


图 17-12 P10 端口的结构框图

表 17-53 P10 输出使能寄存器 (P10OE SFR, SFR 0xA9)

SFR 0xA9, R/W, P10 输出使能寄存器, P10OE SFR								
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P107OEN	P106OEN	P105OEN	P104OEN	P103OEN	P102OEN	P101OEN	P100OEN
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

SFR 0xA9, R/W, P10 输出使能寄存器, P10OE SFR

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
--	------	------	------	------	------	------	------	------

1, 禁止输出; 0, 允许输出; -, 不关心。

表 17-54 P10 输入使能寄存器 (P10IE SFR, SFR 0xAA)

SFR 0xAA, R/W, P10 输入使能寄存器, P10IE

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
	P107INEN	P106INEN	P105INEN	P104INEN	P103INEN	P102INEN	P101INEN	P100INEN
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

1, 允许输入; 0, 禁止输入; -, 不关心。

表 17-55 P10 输出数据寄存器 (P10OD SFR, SFR 0xAB)

SFR 0xAB, R/W, P10 输出数据寄存器, P10OD SFR

	bit7	Bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

表 17-56 P10 输入数据寄存器 (P10ID SFR, SFR 0xAC)

SFR 0xAC, R/W, P10 输入数据寄存器, P10ID SFR

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

## 第18章看门狗定时器 (Watchdog Timer, WDT)

V99XX 内部集成了一个 16-bit 硬件看门狗定时器 (Watchdog Timer)，对 RC 时钟脉冲进行计数。当程序陷入死循环或跑飞时，该定时器计数溢出，发生 WDT 溢出复位，使系统复位，增强了系统的稳定性。该定时器具有以下特点：

- WDT 对 32kHz 的 RC 时钟脉冲计数；
- 在休眠（深睡眠或浅睡眠）状态下，WDT 停止计数，休眠唤醒后，WDT 继续计数；
- 发生 IO 休眠唤醒复位、RTC 休眠唤醒复位、恢复供电复位、POR 复位、片外输入 RSTn 复位时，WDT 被复位；
- WDT 被复位后，WDT 计数被清零。复位结束后，WDT 自动重新开始计数；
- WDT 计数溢出时，系统发生 WDT 溢出复位（复位等级 1），复位持续时间为 8 个 RC 时钟周期；
- 调试模式下，WDT 溢出复位被屏蔽。

### 18.1 WDT 时钟源

WDT 计时器的时钟源为时钟 4，即为 32kHz 的 RC 时钟，所以，WDT 对 32kHz 的 RC 时钟脉冲计数。因为 RC 时钟电路始终工作，而时钟 4 可关闭，所以，在时钟 4 未关闭时，WDT 始终工作。

在 V99XX 中，关闭时钟 1 的同时时钟 4 也被关闭，所以，用户可通过时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80) 的 SLEEP1/SLEEPO (bit[2:1]) 关闭时钟 1 和时钟 4，使系统进入浅睡眠或者深睡眠状态，此时，WDT 停止工作。系统发生休眠唤醒或恢复供电复位时，WDT 自动重新开始运行。

表 18-1 WDT 停止计数操作

寄存器	位	功能说明
时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80)	bit[2:1] SLEEP1/SLEEPO	同时开启或者关闭时钟 1 和时钟 4。 当 PWRUP 为 0 时，向 MCUFRQ 写入 0，再对 SLEEP1/SLEEPO 进行配置： 11/01，系统进入浅睡眠；10，系统进入深睡眠。

### 18.2 清空 WDT 计数

发生 IO 休眠唤醒复位、RTC 休眠唤醒复位、恢复供电复位、POR 复位、片外输入 RSTn 复位时，WDT 被复位，计数被清零。复位结束后，WDT 自动从 0 开始计数。

程序清空 WDT 计数的方法：连续向 WDTEN SFR (SFR 0xCE) 和 WDTCLR SFR (SFR 0xCF) 写入 0xA5 和 0x5A，清除 WDT 计数，使 WDT 重新开始计数，不产生 WDT 溢出复位信号，以防止因 WDT 溢出而引起系统复位。

SFR 0xCE, W, WDTEN SFR	0xA5
SFR 0xCF, W, WDTCLR SFR	0x5A

### 18.3 WDT 溢出复位原理

如图 WDT 溢出复位原理所示，WDT 溢出复位的原理如下：

1. 当程序对 WDT 定时器进行清零操作，即喂狗时，WDT 计数清零，之后，WDT 自动重新从 0 开始计数；
2. WDT 从 0 计数至 $[3 \times 2^{14}]$ 时，即 1.5s 后，如果程序仍未将 WDT 计数清零，则 WDT 计数溢出，系统发生 WDT 溢出复位，复位持续时间为 8 个计数时钟周期 ( $8/f_{RC}$ )；

发生 WDT 溢出复位时，系统状态寄存器 (Systate SFR, SFR 0xA1) 的 Bit5 置标志位，供程序查询。在调试模式下 (MODE1 引脚接低电平)，WDT 溢出复位被屏蔽，且不会在 Sysstate SFR 中置标志位。其它复位事件发生时，此标志位被清零。

发生 WDT 溢出复位时，除了 RTC 校正寄存器、RTC 计时寄存器、IRAM 和 XRAM 之外，系统的全部电路均被复位。

表 18-2 WDT 溢出复位标志位

寄存器	位	说明
系统状态寄存器 (Systate SFR, SFR 0xA1)	Bit5 POR	判断复位原因，等级 1 复位标志位。当其它复位发生时，此标志位清零。 1, 表示上次的复位是由 POR/BOR、片外输入事件 (RSTn) 或 WDT 溢出复位引起。

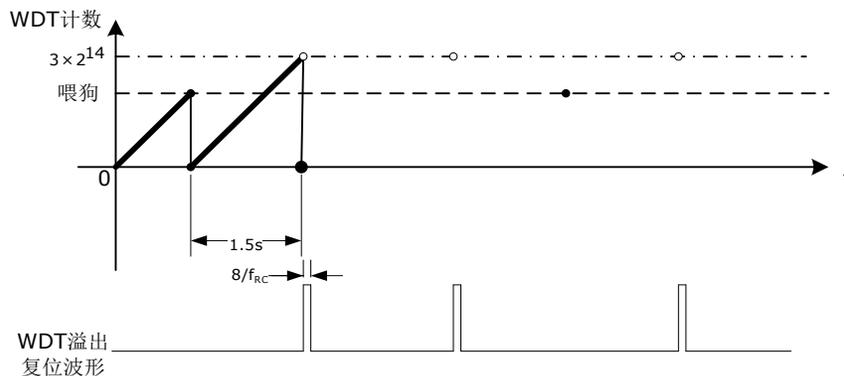


图 18-1 WDT 溢出复位原理

## 18.4 WDT 相关寄存器

表 18-3 WDT 时钟源相关寄存器

SFR 0x80, R/W, 时钟切换控制寄存器, SysCtrl SFR			
位		默认值	功能说明
bit7	MEAFRQ	0	选择电能计量时钟（时钟 2）的时钟源。 0, OSC 时钟；1, PLL 时钟。 配置这个位切换时钟 2 的时钟源；读取该位的值以获取当前时钟 2 的时钟源信息。
Bit6	FWC	0	快速唤醒控制位。 当 FSC 配置为 0 时，FWC 的配置才生效。 当 FWC 配置为 1 有效时，PLL 电路开启，且输出频率保持为 3.2768MHz，时钟 1 的时钟源从 OSC 时钟切换为 PLL 时钟。 当 FSC 配置为 0 时，向 FWC 写入 1，会硬件锁定时钟设置，向 FWC 写 0 只会去除硬件硬件锁定但不会切换时钟。
Bit5	FSC	0	快速休眠控制位。 当 PWRUP 读出值为 0 时，向 FSC 位写入 1，可将时钟 1 的时钟源从 PLL 时钟切换为 OSC 时钟，关闭 PLL 电路，并关闭时钟 1，使系统进入浅睡眠状态。 当 PWRUP 读出值为 1 时，向该位写入 1 无法完成上述时钟源切换和关闭。
Bit4	PMG	0	开关电能计量时钟（时钟 2）。0，开启；1，关闭。
Bit3	LCDG	0	开关 LCD 时钟（时钟 3）。0，开启；1，关闭。 当时钟 1 和时钟 2 的时钟源为 PLL 时钟时，时钟 3 才可被关闭。
Bit2	SLEEP1	0	同时开启或者关闭 MCU 时钟（时钟 1）和 WDT 时钟（时钟 4）。 当 PWRUP 为 0 时，向 MCUFRQ 写入 0，再对 SLEEP1/SLEEPO 进行配置：
Bit1	SLEEPO	0	11/01，系统进入浅睡眠； 10，系统进入深睡眠。
bit0	MCUFRQ	0	选择 MCU 时钟（时钟 1）的时钟源。配置这个位可以切换时钟 1 的时钟源；读取该位的值可以获取当前时钟 1 时钟源信息。 0, OSC 时钟；1, PLL 时钟。

表 18-4 清除 WDT 计数相关寄存器

地址	寄存器	R/W	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0xCE	WDTEN	W	-	-	-	-	-	-	-	-
0xCF	WDTCLR	W	-	-	-	-	-	-	-	-

程序可通过连续向 WDTEN SFR（SFR 0xCE）和 WDTCLR SFR（SFR 0xCF）写入 0xA5 和 0x5A，清除 WDT 计数，使 WDT 重新开始计数，不产生 WDT 溢出复位信号，以防止因 WDT 溢出而引起系统复位。

表 18-5 复位标志位相关寄存器

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[7:6]	保留	-	-	
bit5	POR	R	0	1, 表示上次的复位是由 POR/BOR、RSTn 输入或 WDT 溢出复位引起。
Bit4	保留	-	0	
Bit3	IO	R	0	1,, 表示系统在浅睡眠或者深睡眠状态下被 IO 端口输入信号变化唤醒。
Bit2	RTC/CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。
Bit1	PWRDN	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRDN 位为 1, 表示发生了掉电; 当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRDN 位为 0, 表示没有发生掉电。如果掉电中断使能, 掉电事件会向 MCU 提起中断。
Bit0	PWRUP	R	0	当 VDCIN 引脚输入电压上升到 1.1V 以及以上时, PWRUP 位为 1。 当 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时, PWRUP 位为 0。

注: 当发生 MODE1 输入为低电平时 PWRUP 始终保持为 1, 即使 VDCIN 引脚输入电压下降到 1.0V 以及以下时也不能休眠。

## 第19章 RTC

V99XX 集成的 RTC 具有如下特点：

- 使用独立的 32.768kHz 的 OSC 时钟；
- 提供实时时钟和日历，而且，能自动对闰年闰月及各大小月进行判断，并对其进行自动调整；
- 内部具有校正寄存器，可以根据配置的校正值自动进行计时校正；
- 支持温度补偿，全温度范围内计时误差小于 5ppm；
- 提供秒脉冲输出，同时向 MCU 提起秒中断；RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）不可被复位，其它寄存器仅可被复位等级 1 复位；
- 系统进入浅睡眠状态时，RTC 依然可以正常工作，并可以提供 1 日/1 小时/1 分/1~63 秒/500ms/250ms/125ms/62.5ms 间隔的唤醒复位，持续 8 个 OSC 时钟周期。

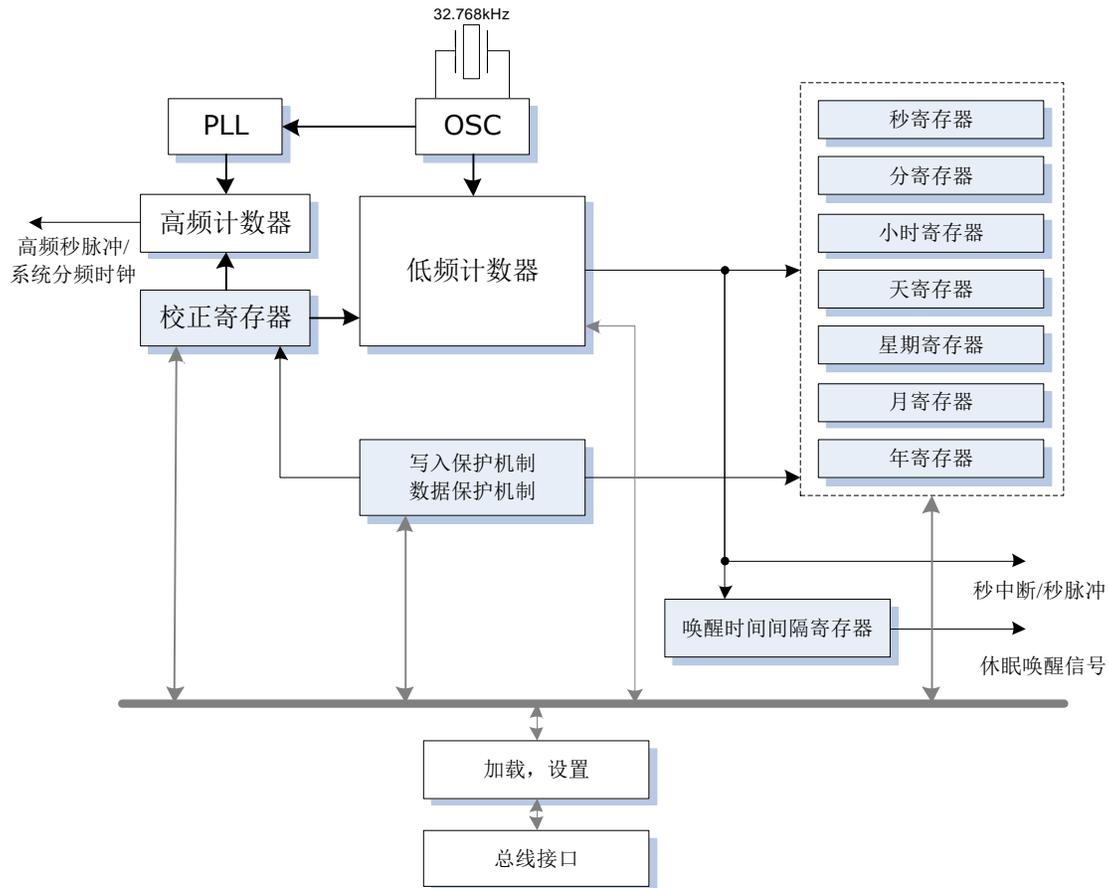


图 19-1 RTC 结构框图

### 19.1 RTC 相关寄存器

RTC 相关寄存器中，仅 RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）和 RTC 校正寄存器不受任何复位影响，其它寄存器均可在发生 POR/BOR 复位、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时被复位。

表 19-1 RTC 密码使能寄存器 (RTCPEN SFR, 0x90)

SFR 0x90, RTC 密码使能寄存器, RTCPEN SFR			
位	默认值	R/W	说明
bit[7:0]	X	W	用户必须先向寄存器 RTCPEN SFR 写入 0x96, 才能对寄存器 RTCPWD SFR 进行有效的写操作, 对这两个寄存器的访问必须为连续写操作。 对寄存器 RTCPEN SFR 而言, 仅 0x96 为有效数据。

表 19-2 RTC 密码寄存器 (RTCPWD SFR, 0x97)

0x97, RTC 密码寄存器, RTCPWD SFR			
位	默认值	R/W	说明
bit[7:1]	X	W	bit7~bit1, 只写。Bit0, 可读可写。
Bit0	WE X	R/W	这个寄存器只能写入以下值: <ul style="list-style-type: none"> <li>0x57: 使能对 RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器的写入操作;</li> <li>0x56: 禁止对上述寄存器的写入操作。</li> </ul>

表 19-3 休眠唤醒间隔设置寄存器 1 (INTRTC SFR, 0x96)

0x96, 休眠唤醒间隔设置寄存器 1, INTRTC SFR			
位	默认值	R/W	说明
bit[7:3]	0	R/W	
bit[2:0]	RTC<2:0>	R/W	000, 1 秒; 001, 1 分; 010, 1 小时; 011, 1 天; 100, 500 毫秒; 101, 250 毫秒; 110, 125 毫秒; 111, 62.5 毫秒

系统进入浅睡眠状态前, 在 INTRTC SFR 中设置系统休眠唤醒间隔。在浅睡眠状态下, RTC 根据设置的休眠唤醒间隔定时输出复位信号。持续 8 个 OSC 时钟周期。RTC 休眠唤醒复位会在系统状态寄存器 (Systate SFR, SFR 0xA1) 的 Bit2 置标志位, 供程序查询。

表 19-4 休眠唤醒间隔设置寄存器 2 (SECINT, 0xDF)

SFR 0xDF, R/W, 休眠唤醒间隔设置寄存器 2, SECINT			
位	R/W	默认值	功能说明
Bit7	-	R/W	0 保留
Bit6	-	R/W	0 必须先将寄存器 INTRTC (SFR 0x96) 设置为 0x07, 再将该位置 1, 才能通过该寄存器的 bit[5:0] 设置秒唤醒间隔时间。
Bit[5:0]	SEC	R/W	0 设置秒唤醒间隔时间, 实际秒唤醒间隔时间为 (bit[5:0]) s, 其中 bit[5:0] 为 1~63 (十进制)。 当 bit[5:0] 为 0 (十进制) 时, RTC 唤醒间隔为 62.5ms。

表 19-5 RTC 休眠唤醒复位标志位相关寄存器

SFR 0xA1, R, 系统状态寄存器, Systate				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit2	RTC/CF	R	0	当该位置 1, 而 CFWK (bit3, IOWKDET, SFR 0xAF) 为 0 时, 表示系统在浅睡眠状态下被 RTC 定时唤醒。 当该位与 CFWK 位同时置 1 时, 表示系统在浅睡眠状态下因 CF 脉冲输出被唤醒。

注: 当发生 POR/BOR、片外输入 RSTn 复位或 WDT 溢出复位时, 该寄存器被复位。

表 19-6 RTC 校正寄存器 (RTCCH SFR/RTCCL SFR, 0x94/0x95)

寄存器	位	默认值	R/W	说明
0x94, RTCCH	bit[7:6]	保留	X	RTC 校正值 (C), 补码。
	bit[5:0]	C<13:8>	X	
0x95, RTCCL	bit[7:0]	C<7:0>	X	R/W RTC 内部计时器以 OSC 时钟频率进行累加, 在 1~29 秒, 每累加 32768 次输出一个秒脉冲; 在第 30 秒, 累加[32768-(C<13:0>-1)]次输出一个秒脉冲。因此, RTC 内部计时器每 30 秒进行一次秒脉冲调整, 使 30 秒内每个脉冲的平均宽度为 1s。30 秒内, 秒脉冲校正分辨率为 1.02ppm, 调整范围为±8332.3ppm (±12 分钟/天)。

表 19-7 RTC 数据读取寄存器 (RDRTC SFR, 0xDA)

SFR 0xDA, RTC 数据读取寄存器, RDRTC SFR			
位	默认值	R/W	说明
bit[7:0]	X	R	当 MCU 要读取 RTC 时间设置寄存器 (RTC 计时寄存器) 的值时, 必须先对该寄存器进行读操作, 详见“读 RTC 时间数据”。该寄存器的读出值为 0x00, 无意义。

表 19-8 高频分频门限值寄存器 (DIVTHH SFR/DIVTHM SFR/DIVTHL SFR, 0xDB/0xDC/0xDD)

寄存器	位	默认值	R/W	说明
0xDB, DIVTHH SFR	bit[7:0]	DIV<23:16>	0	R/W 高频分频门限值寄存器高位字节
0xDC, DIVTHM SFR	bit[7:0]	DIV<15:8>	0	R/W 高频分频门限值寄存器中位字节

0xDD, DIVTHL SFR	bit[7:0]	DIV<7:0>	0	R/W	高频分频门限值寄存器低位字节
------------------	----------	----------	---	-----	----------------

表 19-9 高频计数器状态寄存器 (PLL CNTST SFR, 0xDE)

SFR 0xDE, 高频计数器状态寄存器, PLL CNTST SFR				
位		默认值	R/W	说明
bit[7:2]		0	R/W	保留
bit[1:0]	STT<1:0>	0	R/W	<p>0x00, 高频计数器作分频器用, 并从 0 计数。计数至高频分频门限值寄存器的值 (TH) 时, 高频计数器清零并重新开始计数。每次清零都会输出脉冲 (可作高频分频时钟输出)。</p> <p>0x01, 高频计数器进入计数器模式, 等待输入标准秒脉冲信号的第一个上升沿。</p> <p>0x02, 当系统检测到引脚 SDSP 上输入的标准秒脉冲信号的第一个上升沿时, 该寄存器的值自动切换为 0x02, 即, 该高频计数器作计数器用, 并从 0 开始计数。</p> <p>0x03, 当系统再次检测到引脚 SDSP 上输入的标准秒脉冲信号的上升沿后, 该寄存器的值自动切换为 0x03, 高频计数器停止计数, 高频计数器当下的计数值被送入高频分频门限值寄存器 (TH), 从而得到实际的高频秒脉冲频率。</p>

RTC 时间设置寄存器 (RTC 计时寄存器) 的值采用 BCD 编码, 其中 Bit7~Bit4 表示日期的十位数, Bit3~Bit0 表示日期的个位数, 如, 在 RTCSC SFR 中设置 43 秒时, 寄存器应设置为 0b01000011。所有计时寄存器均可读可写。RTC 自动对闰年闰月及各大小月进行判断。

表 19-10 RTC 时间设置寄存器 (RTC 计时寄存器)

寄存器		Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
SFR 0x9A	秒设置寄存器, RTCSC SFR, 0~59 秒	-	S40	S20	S10	S8	S4	S2	S1
SFR 0x9B	分设置寄存器, RTCMiC SFR, 0~59 分	-	M40	M20	M10	M8	M4	M2	M1
SFR 0x9C	时设置寄存器, RTCHC SFR, 0~23 时	-	-	H20	H10	H8	H4	H2	H1
SFR 0x9D	天设置寄存器, RTCDC SFR	-	-	D20	D10	D8	D4	D2	D1
SFR 0x9E	周设置寄存器, RTCWC SFR	-	-	-	-	-	W4	W2	W1
SFR 0x9F	月设置寄存器, RTCMoC SFR, 1~12 月	-	-	-	Mo10	Mo8	Mo4	Mo2	Mo1
SFR 0x93	年设置寄存器, RTCYC SFR, 2000~2099 年	Y80	Y40	Y20	Y10	Y8	Y4	Y2	Y1
默认值		X	X	X	X	X	X	X	X

寄存器	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
<p>“周”只能由用户设置，RTC不会自动判断，一旦设定，RTC会自动累加。如，一旦用户将2010年1月1日设置为周五，RTC会自动判断2010年1月2日为周六。W4/W2/W1: 000, 周日; 001, 周一; 010, 周二; 011, 周三; 100, 周四; 101, 周五; 110, 周六; 111 为非法数据。系统仅能对年份的后两位数进行设置。比如设置2010年时，RTCYC应设置为0b00010000。RTC时间寄存器需要把年月日时分秒周7个数据一次性按照一定时序写入，分开写不会成功。</p>								

## 19.2 读写 RTC

### 19.2.1 写 RTC

在 V99XX 中，对 INTRTC SFR、RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）的写操作被保护。

用户应严格按照以下步骤对上述寄存器进行写操作：

1. 在 RTCPEN SFR 中写入 0x96，使能寄存器 RTCPWD SFR 的写入操作；
2. 在 RTCPWD SFR 写入 0x57，使能对 RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）的写入操作；
3. 5 个 OSC 时钟周期后，对寄存器 RTC 校正寄存器/ RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）进行数据配置；
4. 5 个 OSC 时钟周期后，在 RTCPEN SFR 中写入 0x96，使能寄存器 RTCPWD SFR 的写入操作；
5. 在 RTCPWD SFR 写入 0x56，恢复对 RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）的写入保护。5 个 OSC 时钟周期后，MCU 自动将上述寄存器的数据写入 RTC，从而完成 RTC 配置。在完成 RTC 配置之前，不得再次使能对 RTC 校正寄存器和 RTC 时间设置寄存器的写入操作。

### 19.2.2 读 RTC 数据

#### 19.2.2.1 读 RTC 时间数据

读取 RTC 时间数据时，MCU 应先读寄存器 RDRTC SFR（SFR 0xDA），等待至少 5 个 OSC 时钟周期后，RTC 时间数据被锁存，MCU 再对所有计时寄存器（时间设置寄存器）进行读操作，从而得到当前的时间数据。

#### 19.2.2.2 读 RTC 校正数据

MCU 可直接读取 RTC 校正寄存器的值。

## 19.3 RTC 计时

初始上电后，RTC 开始计时，而且，只要芯片供电保持有效，计时不受任何复位的影响。

如果用户未对 RTC 进行时间设置，则 RTC 从随机值进行计时；如果用户对 RTC 进行了时间设置，则 RTC 在设置值的基础上进行计时。

## 19.4 RTC 中断

在 V99XX 中，当中断使能时，RTC 可以向 MCU 提起非法数据中断和 RTC 秒中断。

### 19.4.1 RTC 非法数据中断

当 RTC 非法数据中断被使能时，即，EA=1，EIE.2=1，且 ExInt4IE.0=1，在以下情况下 RTC 会向 MCU 提起非法数据中断：

取消了写入保护，但是设置了错误的时间。

上述情况下，RTC 时间设置寄存器（RTC 计时寄存器）中的值会保持不变，即本次时间设置无效。

时间值用 BCD 编码表示，对于每一个表示时间的 BCD 位，数据 0xF 不被认为是错误数据。

## 19.4.2 RTC 秒中断

当 RTC 秒中断被使能时，即，EA=1，EIE.1=1，且 ExInt3IE.6=1，RTC 会向 MCU 提起秒中断。

## 19.5 高频秒脉冲校正

V99XX 集成了一个 24 位高频计数器 PLLCNT 模块，可作为分频器或计数器使用，其工作模式由高频计数器状态寄存器（PLLCNTST SFR，0xDE）控制，可用于高频秒脉冲校正。

当 PLLCNTST SFR 配置为 0x00 时，这个 24 位高频计数器 PLLCNT 模块作分频器用。在这个模式下，PLLCNT 模块从 0 开始计数，每个时钟周期累加 1。用户可通过高速分频门限值寄存器（DIVTHH/DIVTHM/DIVTHL SFR）预设其分频门限值（TH），当 PLLCNT 模块计数到预设分频门限值时，PLLCNT 模块清零，重新开始计数，并从引脚 P1.3、P1.4 或 P9.3 输出系统分频时钟。该分频时钟可作高频秒脉冲，或系统分频时钟输出。系统分频时钟的频率由公式 19-1 确定：

$$f_{DIV} = \frac{f_{MCU}}{2 \times (TH + 1)} \quad \text{公式 19-1 其中,}$$

- $f_{DIV}$  为系统分频时钟频率，Hz；
- $f_{MCU}$  为系统时钟频率，与 OSC 时钟频率（ $f_{OSC}$ ）的关系如下：

$$f_{MCU} = K \times f_{OSC} \quad \text{公式 19-2}$$

其中，K 为系数，100/200/400，当 MCU 时钟频率为 13.1072MHz 时，K=400；

- TH 为预设的分频门限值（即寄存器 DIVTHH/DIVTHM/DIVTHL 的值）。当 TH 为 0 时（即默认情况下），系统时钟被 2 分频。系统时钟最高可被  $2^{25}$  分频。

欲使系统输出周期为 1s 的高频秒脉冲，则：

$$TH = \frac{K}{2} \times f_{OSC} - 1 \quad \text{公式 19-3}$$

根据实际测量得到的 OSC 时钟频率可得到 TH，并写入寄存器 DIVTHH/DIVTHM/DIVTHL，从而得到高频秒脉冲。

## 19.6 RTC 校正

使用 V99XX 时，用户可通过校正高频秒脉冲或捕获标准秒脉冲求得 RTC 校正值（C），进行 RTC 校正。

### 19.6.1 利用高频秒脉冲校正 RTC

RTC 校正是在 OSC 时钟频率下进行，每 30 秒校正一次（分别在 29 秒/59 秒进行），RTC 校正寄存器的值每 30 秒更新一次，自身无法实时校正计时误差。但是，当 PLLCNT 输出高频秒脉冲时，可以实时校正秒脉冲的周期误差。因为 PLLCNT 和 RTC 的时钟源均为 OSC 时钟，所以，用户可通过实时校正高频秒脉冲周期误差来实现实时校正 RTC 计时误差。

设校正寄存器的值为 C，当平均秒脉冲周期为 1s 时，C 与 OSC 时钟频率的关系如下：

$$C - 1 = 30 \times (32768 - f_{OSC}) \quad \text{公式 19-4}$$

设高频分频门限值校正值为  $\Delta TH$ ，即晶体标称频率（32768Hz）下产生秒脉冲所需的 TH 值与实际 OSC 时钟频率下输出秒脉冲所需的 TH' 值的差值，则，当  $f_{MCU}$  为 13.1072MHz 时， $\Delta TH$  与 OSC 时钟频率的关系如下：

$$\Delta TH = \frac{K}{2} \times (32768 - f_{OSC}) = 200 \times (32768 - f_{OSC}) \quad \text{公式 19-5}$$

根据公式 1-4 和公式 1-5，可得：

$$\frac{\Delta TH}{C-1} = \frac{200}{30} \quad \text{公式 19-6}$$

所以，由公式 19-6 可知，用户可通过校正高频秒脉冲实时校正 RTC 的计时误差。

## 19.6.2 利用标准秒脉冲校正 RTC

当引脚 P9.1 被用作标准秒信号输入时，PLL CNT 可对此标准输入信号进行计数或捕获，判断自身时钟频率的偏差，从而得出校正数据，对 RTC 进行校正，其具体过程如下：

1. 向寄存器 PLLCNTST 写入 0x01，将 PLLCNT 清零，PLLCNT 作计数器用；
2. 当系统检测到输入的标准秒脉冲信号的上升沿后，PLLCNT 从 0 开始计数（此时，PLLCNTST = 0x02）；
3. 直至 PLLCNT 再次检测到标准秒脉冲信号的上升沿后，PLLCNT 停止计数（此时，PLLCNTST = 0x03）。硬件自动将 PLLCNT 的计数器值写入高频分频门限值寄存器（TH）。将模式切换为高频输出（PLLCNTST 配置成 0x00）即可得到标准的 1s 的脉冲。

$$f_{OSC} = \frac{2}{K} \times (TH + 1) \quad \text{公式 19-7}$$

寄存器 PLLCNTST 的读出值从 0x01 到 0x03 时，系统完成了一次脉宽测量，此功能可用于 RTC 校正。当 MCU 时钟频率为 13.1072MH 时，由公式 19-4 和公式 19-7 可得 RTC 校正寄存器的值 C 与 TH 的关系如下：

$$C - 1 = \frac{30}{200} \times (TH + 1) - 32768 \times 30 \quad \text{公式 19-8}$$

## 19.6.3 温度补偿校正 RTC

由于温度和离散性的影响，不同芯片正常运行时外接的 32768Hz 晶振的频率在不同的时间会有不同的实际振荡频率。RTC 的校正寄存器可以对 RTC 计时进行校正，减小这种差异对最终实际计时带来的影响。

如图 19-3 所示，晶振频率与温度之间成抛物线关系。用户可在不同温度下测得晶振频率，并根据以下方法计算得到相应温度下的 RTC 校正寄存器的值，制表，再通过查表法得到不同温度下的 RTC 校正寄存器的值。

晶振频率测量方法：配置 RTC 校正寄存器的值（C）为 1 时，并配置 P2.0 作为 OSC 输出，用频率计测量引脚 P2.0 输出的 OSC 时钟频率（ $f_{OSC}$ ）。

1. 将不同温度下秒脉冲输出正好为一秒时的晶振值作为基准，如 32768；
2. 设在不同温度下测得的晶振频率为 x，与基准值比较，通过下式计算出校正值 C'（ $C' = C - 1$ ）：

$$C' = \frac{x - 32768}{32768} \times 1000000 / \left( \frac{1}{32768} \times \frac{1}{30} \times 1000000 \right) = 30 \times (x - 32768) \quad \text{公式 19-9}$$

其中， $\frac{1}{32768} \times \frac{1}{30} \times 1000000$ ，为每 30s 内，平均每秒钟的 RTC 校正精度，为 1.02ppm；

$\frac{x - 32768}{32768} \times 1000000$ ，为需要校正的量，单位为 ppm。

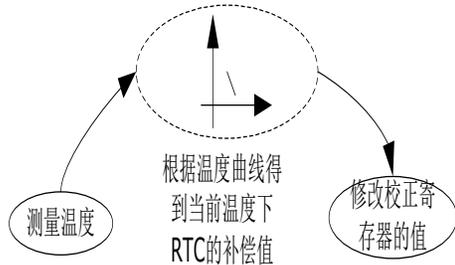


图 19-2 RTC 温度补偿原理

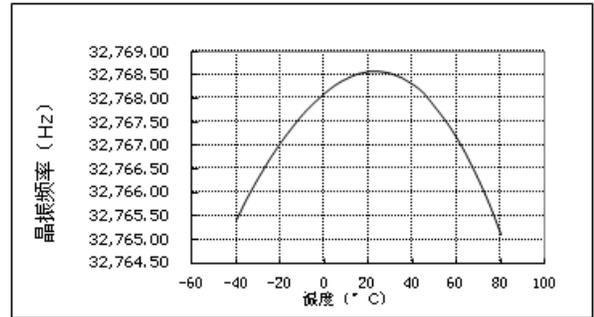


图 19-3 晶振频率与温度的关系

第20章封装尺寸图

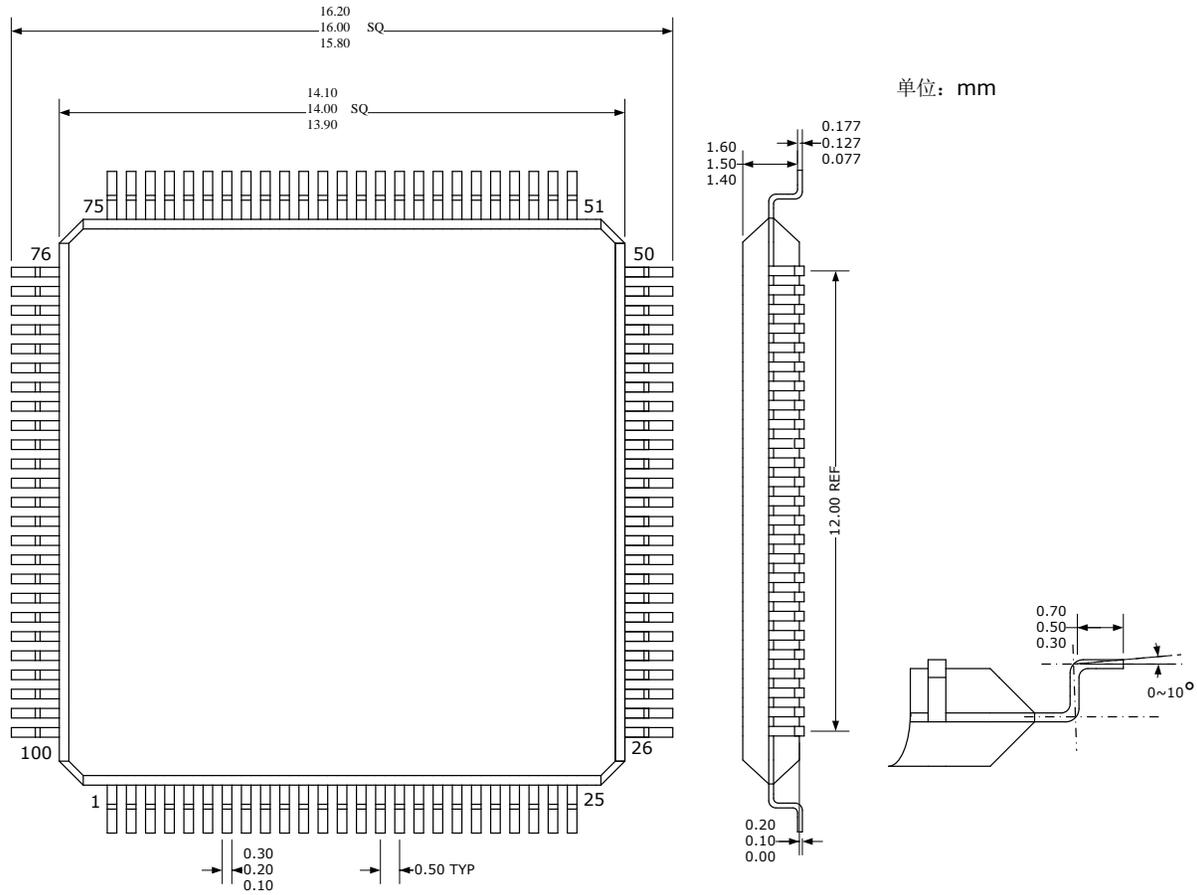


图 20-1 V9901 封装尺寸图

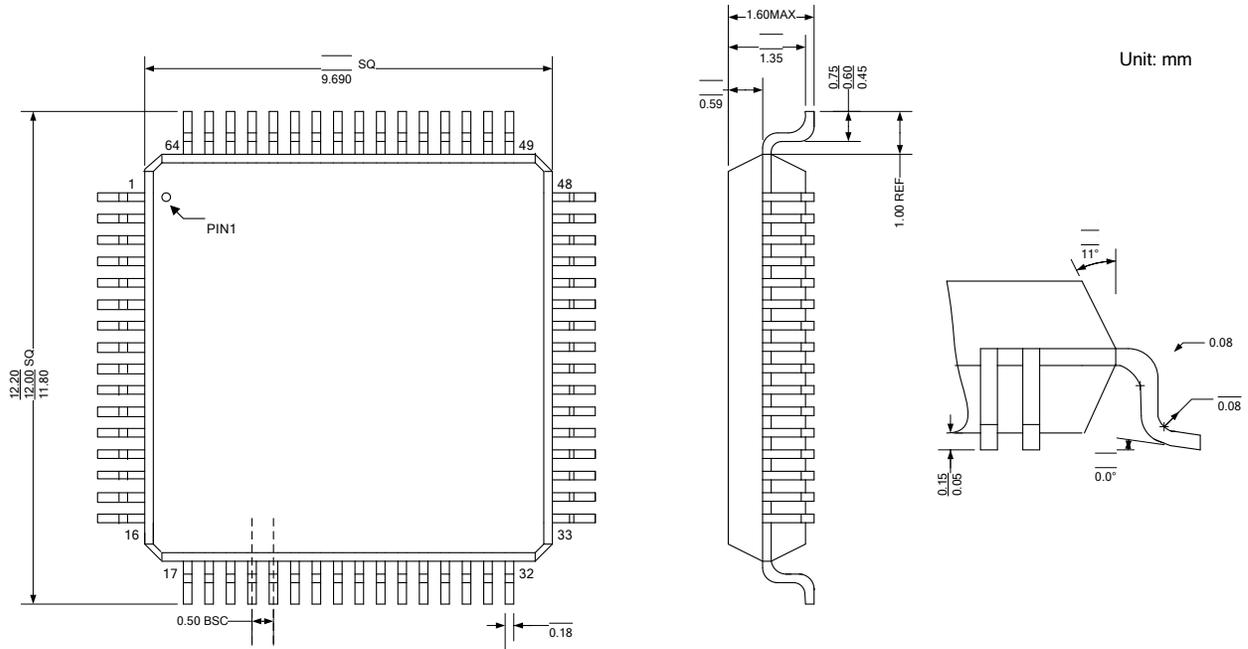


图 20-2 V9911 封装尺寸图

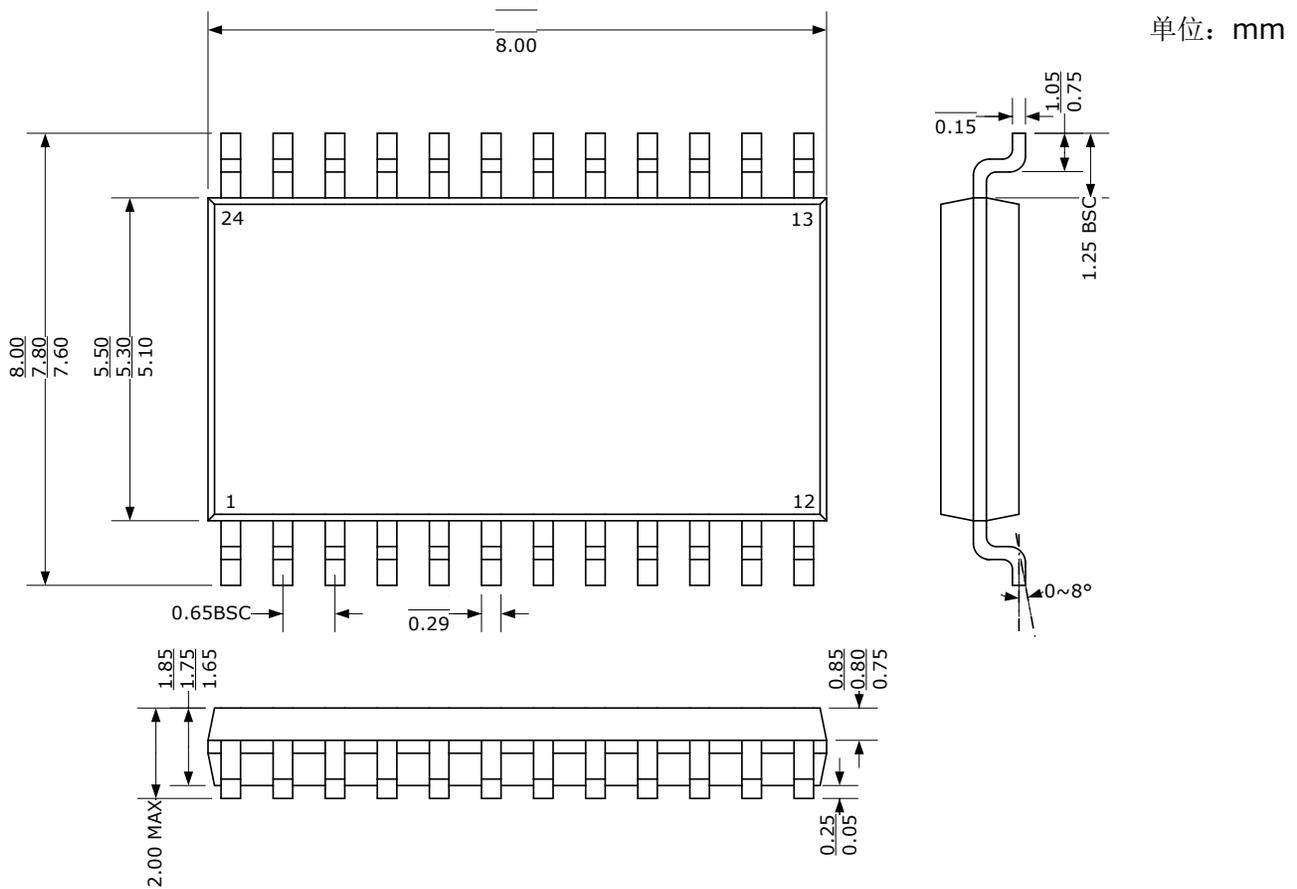


图 20-3 V9981 封装尺寸图

## 图索引

图 1-1 V9901 引脚分布图 .....	9
图 1-2 V9911 引脚分布图 .....	10
图 1-3 V9981 引脚分布图 .....	10
图 3-1 功能框图 .....	18
图 4-1 IRAM 和 SFR .....	19
图 4-2 数据存储空间分配 .....	21
图 4-3 程序存储空间分配 .....	25
图 7-1 复位电路框图 .....	52
图 7-2 RSTn 输入复位时序 .....	53
图 7-3 上电复位 (POR) / 欠压复位 (BOR) 时序 .....	53
图 8-1 电源供电系统 .....	54
图 8-2 LDO33 电压输出与外部 5V 电压信号输入 .....	55
图 8-3 LDO33 电压输出与功耗 .....	55
图 8-4 VDCIN 输入电平与 PWRUP 和 PWRDN 标志位的关系 .....	56
图 9-1 时钟控制电路框图 .....	68
图 9-2 使用快速操作方式开启 PLL 电路并将时钟 1 的时钟源切换到 PLL 时钟 .....	75
图 9-3 使用快速操作方式或结合操作方式将时钟 1 的时钟源切换到 OSC 时钟, 然后关闭 PLL, 关闭时钟 1 .....	76
图 10-1 普通操作方式进入休眠状态 (PLL 时钟关闭) .....	85
图 10-2 普通操作方式进入休眠状态 (PLL 时钟保持开启) .....	86
图 10-3 快速操作方式进入休眠状态 .....	87
图 11-1 电能计量模块交流计量模式信号处理(带有带通滤波器) .....	89
图 11-2 电能计量模块交流计量模式信号处理(无带通滤波器) .....	90
图 11-3 电能计量模块直流计量模式信号处理 .....	91
图 11-4 电能计量模块快速有效值检测模式信号处理 .....	92
图 11-5 基准电压源温度特性曲线 .....	112
图 11-6 电流输入方式 .....	113
图 11-7 电压输入方式 .....	114
图 11-8 电流/电压通道模拟增益配置 .....	115
图 11-9 角差校正原理图 .....	117
图 11-10 数字信号输入 .....	118
图 11-11 电流/电压有效值计算信号处理 .....	121

图 11-12 有功功率计算.....	122
图 11-13 无功功率计算.....	123
图 11-14 有功/无功能量累加和脉冲计数.....	124
图 11-15 线电压频率测量原理.....	126
图 11-16 M 通道外部连接图.....	128
图 11-17 M 通道内部连接图.....	128
图 12-1 模拟比较器结构图.....	137
图 13-1 中断控制系统.....	142
图 13-2 中断处理.....	143
图 14-1 TimerA 结构框图.....	154
图 14-2 TimerA 的工作模式.....	156
图 14-3 Continuous Mode 的用途.....	157
图 14-4 Up Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出.....	161
图 14-5 Continuous Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出.....	162
图 14-6 Up/Down Mode, TimerA 比较模式下的 TA1 引脚的输出.....	163
图 14-7 Timer0/1 模式 0/1.....	167
图 14-8 Timer0/1 模式 2.....	167
图 14-9 Timer0/1 模式 3.....	168
图 14-10 Timer2 的 16 位定时器/计数器模式, 带捕获功能的 16 位计数器模式.....	170
图 14-11 Timer2 自动加载初值的 16 位计数器模式.....	171
图 14-12 EUART 通信数据帧格式 (MSB).....	180
图 14-13 数据通信时序.....	183
图 14-14 EUART 通信数据发送与接收流程图.....	185
图 15-1 通信帧结构.....	187
图 15-2 GPSI 接口收发数据.....	188
图 15-3 GPSI 接口时序.....	189
图 15-4 读操作.....	190
图 15-5 写操作.....	190
图 16-1 LCD 驱动电路结构图.....	193
图 16-2 LCD 驱动波形 (1/4 Duty, 1/3Bias) 示例.....	197
图 16-3 LCD 驱动波形 (1/6 Duty, 1/3Bias) 示例.....	197
图 16-4 LCD 驱动波形 (1/8 Duty, 1/3Bias) 示例.....	198
图 16-5 LCD 驱动波形 (1/8 Duty, 1/4 Bias) 示例.....	199
图 16-6 不同模式下, LCD 显示缓冲寄存器每个字节对应的段内容 (示例).....	200
图 17-1 P0.0 端口的结构框图.....	210

图 17-2 P0.1/P0.2/P0.3 端口的结构框图 .....	210
图 17-3 P1 端口的结构框图 .....	211
图 17-4 P2 端口的结构框图 .....	214
图 17-5 P3 端口的结构框图 .....	216
图 17-6 P4 端口的结构框图 .....	217
图 17-7 P5 端口的结构框图 .....	218
图 17-8 P6 端口的结构框图 .....	220
图 17-9 P7 端口的结构框图 .....	221
图 17-10 P8 端口的结构框图 .....	223
图 17-11 P9 端口的结构框图 .....	223
图 17-12 P10 端口的结构框图 .....	225
图 18-1 WDT 溢出复位原理 .....	228
图 19-1 RTC 结构框图 .....	231
图 19-2 RTC 温度补偿原理 .....	239
图 19-3 晶振频率与温度的关系 .....	239
图 20-1 V9901 封装尺寸图 .....	240
图 20-2 V9911 封装尺寸图 .....	241
图 20-3 V9981 封装尺寸图 .....	241

## 表索引

表 4-1 寄存器组选择 .....	20
表 4-2 Info 区地址分配 .....	21
表 4-3 Flash 控制寄存器 0 (FCtrl0, 0x0400) .....	23
表 4-4 Flash 控制寄存器 1 (FCtrl1, 0x0401) .....	24
表 4-5 Flash 控制寄存器 2 (FCtrl2, 0x0402) .....	24
表 4-6 代码段选择寄存器 (CBANK, SFR 0xA0) .....	24
表 4-7 指令集 .....	26
表 4-8 时钟周期控制寄存器 (CKCON SFR, SFR 0x8E) .....	30
表 4-9 可编程的 MOVX 访问周期 .....	31
表 5-1 特殊功能寄存器列表 (SFR) .....	32
表 6-1 ADC 控制寄存器 0 (CtrlADC0, 0x2858) .....	36
表 6-2 ADC 控制寄存器 1 (CtrlADC1, 0x2859) .....	37
表 6-3 ADC 控制寄存器 2 (CtrlADC2, 0x285A) .....	37
表 6-4 ADC 控制寄存器 3 (CtrlADC3, 0x285B) .....	38
表 6-5 电池放电控制寄存器 (CtrlBAT, 0x285C) .....	38
表 6-6 ADC 控制寄存器 4 (CtrlADC4, 0x285D) .....	39
表 6-7 LCD 驱动电压控制寄存器 (CtrlLCDV, 0x285E) .....	39
表 6-8 晶振控制寄存器 1 (CtrlCry1, 0x2860) .....	40
表 6-9 晶振控制寄存器 2 (CtrlCry2, 0x2861) .....	40
表 6-10 BGP 控制寄存器 (CtrlBGP, 0x2862) .....	41
表 6-11 ADC 控制寄存器 5 (CtrlADC5, 0x2863) .....	42
表 6-12 ADC 控制寄存器 6 (CtrlADC6, 0x2864) .....	43
表 6-13 M 通道控制寄存器 (CtrlM, 0x2865) .....	43
表 6-14 LDO 控制寄存器 (CtrlLDO, 0x2866) .....	44
表 6-15 时钟控制寄存器 (CtrlCLK, 0x2867) .....	45
表 6-16 PLL 控制寄存器 (CtrlPLL, 0x2868) .....	46
表 6-17 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869) .....	46
表 6-18 LDO 输出电压调节寄存器 (LDO33TRIM/DVCCTRIM, 0x286A) .....	47
表 6-19 模拟电路状态寄存器 ANState .....	47
表 7-1 复位标志位相关寄存器 .....	49
表 7-2 系统状态寄存器 .....	49
表 7-3 IO 休眠唤醒控制寄存器 (IOWK, SFR 0xC9) .....	50

表 7-4 复位范围.....	51
表 8-1 系统状态寄存器 .....	56
表 8-2 电池放电相关寄存器.....	57
表 8-3 LDO 控制寄存器 .....	57
表 9-1 时钟切换控制寄存器.....	60
表 9-2 系统状态寄存器 (Systate SFR, SFR 0xA1) .....	61
表 9-3 PLL 状态寄存器 (PLLLCK SFR, SFR 0xA3) .....	61
表 9-4 外设开关控制寄存器 0 (PRCtrl0, 0x2D00) .....	61
表 9-5 外设开关控制寄存器 1 (PRCtrl1, 0x2D01) .....	62
表 9-6 外设时钟分频寄存器 (Prescaler, 0x2D02) .....	63
表 9-7 晶振控制寄存器 1 .....	63
表 9-8 晶振控制寄存器 2 .....	64
表 9-9 时钟控制寄存器 .....	64
表 9-10 PLL 控制寄存器 .....	65
表 9-11 时钟切换控制寄存器 (SysCtrl SFR, SFR 0x80) .....	65
表 9-12 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869) .....	66
表 9-13 模拟电路状态寄存器 (ANState,0x286B) .....	67
表 9-14 RC 时钟控制寄存器 (RCTRIM, 0x2869) .....	69
表 9-15 MCU/ADC/电能计量时钟频率配置 .....	70
表 9-16 电网应用选择 .....	71
表 9-17 复位后时钟 1 的状态.....	72
表 9-18 复位后电能计量时钟源状态.....	73
表 9-19 MCU 时钟源快速切换控制位 .....	73
表 9-20 普通操作、快速操作和结合操作进行 MCU 时钟源切换的比较.....	75
表 9-21 外设时钟分频寄存器 (Prescaler, 0x2D02) .....	76
表 10-1 系统状态寄存器.....	78
表 10-2 P0 休眠唤醒标志寄存器 (IOWKDET, SFR0xAF) .....	78
表 10-3 IO 休眠唤醒边沿选择寄存器 (IOEDG, SFR0xC7) .....	79
表 10-4 IO 休眠唤醒控制寄存器 (IOWK, SFR 0xC9) .....	80
表 10-5 设置 RTC 休眠唤醒间隔 1.....	80
表 10-6 设置 RTC 休眠唤醒间隔 2.....	81
表 10-7 LDO 控制寄存器 (CtrlLDO, 0x2866) .....	81
表 10-8 LDO 输出电压调节寄存器 (LDO33TRIM/DVCCTRIM, 0x286A) .....	82
表 10-9 系统休眠状态设置.....	86
表 11-1 读写缓存寄存器与数据的对应关系 .....	93

表 11-2 PM 控制寄存器 1 (PMCtrl1, 0x2878) .....	94
表 11-3 PM 控制寄存器 2 (PMCtrl2, 0x2879) .....	95
表 11-4 PM 控制寄存器 3 (PMCtrl3, 0x287A) .....	96
表 11-5 角差校正控制寄存器 1 (PHCCtrl1, 0x287B) .....	97
表 11-6 角差校正控制寄存器 2 (PHCCtrl2, 0x287C) .....	98
表 11-7 PM 控制寄存器 4 (PMCtrl4, 0x287D) .....	99
表 11-8 脉冲输出控制寄存器 (CFCtrl, 0x287E) .....	100
表 11-9 防潜标志寄存器 (CRPST, 0x287F) .....	101
表 11-10 电流检测寄存器 (IDET, 0x2886) .....	102
表 11-11 信号波形数据寄存器 (R/W) .....	103
表 11-12 功率/有效值数据寄存器 (R/W) .....	104
表 11-13 能量累加寄存器/能量脉冲计数器 (R/W) .....	106
表 11-14 频率值寄存器 (DATAFREQ, 0x20FD) .....	107
表 11-15 M 通道数据寄存器.....	107
表 11-16 功率/有效值比差寄存器 (R/W) .....	108
表 11-17 功率二次补偿寄存器 (R/W) .....	108
表 11-18 有效值噪声补偿寄存器 (R/W) .....	108
表 11-19 直流补偿寄存器 (R/W) .....	109
表 11-20 带通滤波器系数寄存器 (0x20EF) .....	110
表 11-21 电流检测门限值寄存器.....	110
表 11-22 门限值寄存器/常数功率值寄存器 (R/W) .....	110
表 11-23 时钟 2 和 ADC 时钟的时钟源选择与关闭 .....	111
表 11-24 ADC 时钟和电能计量时钟频率配置 .....	111
表 11-25 电压/电流通道模拟增益配置.....	114
表 11-26 开关电压/电流通道 ADC .....	115
表 11-27 计量模式选择控制位 .....	116
表 11-28 电流计量通道选择控制位 .....	116
表 11-29 不同 $f_{smp1}$ 下的角差分辨率和校正范围 .....	117
表 11-30 角差校正值配置 .....	118
表 11-31 数字信号输入使能 .....	118
表 11-32 计量通道信号数字增益配置 .....	119
表 11-33 有效值计算的寄存器配置 .....	120
表 11-34 功率计算选择.....	122
表 11-35 能量累加/功率源选择/脉冲源选择/能量脉冲产生速率控制位 .....	124
表 11-36 CF 脉冲输出配置 .....	125

表 11-37 起动/潜动判断控制位和标志位 .....	126
表 11-38 信号频率大小与频率值寄存器输出值的线性关系 .....	127
表 11-39 波形缓存控制寄存器 (SignalBuffCtrl, 0x4200) .....	130
表 11-40 校表相关计量数据寄存器 .....	132
表 12-1 模拟比较器相关寄存器 .....	137
表 13-1 中断资源列表 .....	139
表 13-2 IE SFR (SFR 0xA8) .....	144
表 13-3 IP SFR (SFR 0xB8) .....	144
表 13-4 EIE SFR (SFR 0xE8) .....	145
表 13-5 EIP SFR (SFR 0xF8) .....	145
表 13-6 EXIF SFR (SFR 0x91) .....	145
表 13-7 EICON SFR (SFR 0xD8) .....	146
表 13-8 中断向量 8 中断源 .....	146
表 13-9 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt2IFG, 0x2840) .....	146
表 13-10 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt2IN, 0x2841) .....	147
表 13-11 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt2OUT, 0x2842) .....	147
表 13-12 扩展中断使能寄存器 (ExInt2IE, 0x2843) .....	147
表 13-13 扩展中断队列寄存器 (ExInt2OV, 0x2844) .....	147
表 13-14 中断向量 9 的中断源 .....	147
表 13-15 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt3IFG, 0x2848) .....	148
表 13-16 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt3IN, 0x2849) .....	148
表 13-17 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt3OUT, 0x284A) .....	148
表 13-18 扩展中断使能寄存器 (ExInt3IE, 0x284B) .....	149
表 13-19 扩展中断队列寄存器 (ExInt3OV, 0x284C) .....	149
表 13-20 中断向量 10 中断源 .....	149
表 13-21 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt4IFG, 0x2850) .....	150
表 13-22 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt4IN, 0x2851) .....	150
表 13-23 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt4OUT, 0x2852) .....	150
表 13-24 扩展中断使能寄存器 (ExInt4IE, 0x2853) .....	150
表 13-25 扩展中断队列寄存器 (ExInt4OV, 0x2854) .....	150
表 13-26 中断向量 11 中断源 .....	151
表 13-27 中断标志 (请求) 寄存器 (ExInt5IFG, 0x28A2) .....	151
表 13-28 扩展中断输入类型寄存器 (ExInt5IN, 0x28A3) .....	151
表 13-29 扩展中断输出类型寄存器 (ExInt5OUT, 0x28A4) .....	152
表 13-30 扩展中断使能寄存器 (ExInt5IE, 0x28A5) .....	152

表 13-31 扩展中断队列寄存器 (ExInt5OV, 0x28A6) .....	152
表 14-1 TimerA 寄存器列表 .....	154
表 14-2 TimerA 计数寄存器 (TAR, 0x2902~0x2903) .....	155
表 14-3 TimerA 控制寄存器 (TACTL, 0x2900) .....	155
表 14-4 TimerA 的捕获/比较模块 x*的控制寄存器 (0x2904~0x2909) .....	158
表 14-5 Timer0/Timer1/Timer2 时钟源选择 .....	163
表 14-6 时钟周期控制寄存器 (CKCON SFR, SFR 0x8E) .....	164
表 14-7 Timer0/1 模式控制寄存器 (TMOD SFR, SFR 0x89) .....	164
表 14-8 Timer0/1 控制寄存器 (TCON SFR, SFR 0x88) .....	165
表 14-9 Timer2 控制寄存器 (T2CON SFR, SFR 0xC8) .....	169
表 14-10 Timer2 模式设置 .....	169
表 14-11 UART1 控制寄存器 (SCON1 SFR, SFR 0xC0) .....	171
表 14-12 UARTx 相关的寄存器.....	172
表 14-13 UARTx 控制/状态寄存器 (TCON2/TCON3/TCON4/TCON5) .....	174
表 14-14 UARTx 相关定时器模式控制寄存器 (TMOD2/TMOD3/TMOD4/TMOD5) .....	174
表 14-15 UARTx 控制寄存器 (SCON2/SCON3/SCON4/SCON5) .....	175
表 14-16 UARTx 缓冲寄存器 (SBUF2/SBUF3/SBUF4/SBUF5) .....	175
表 14-17 TXD2 类型选择寄存器 (Txd2FS, 0x28CF) .....	176
表 14-18 载波产生寄存器 .....	176
表 14-19 UART 模式选择.....	176
表 14-20 EUART1/2 波特率发生器.....	180
表 14-21 EUART1/2 数据读写缓冲寄存器 (DATAA/DATAB, 0x2A03/0x2B03) .....	180
表 14-22 EUART1/2 信息寄存器 (INFOA/INFOB, 0x2A04/0x2B04) .....	181
表 14-23 EUART1/2 配置寄存器 (CFGA/CFGB, 0x2A05/0x2B05) .....	181
表 14-24 可调整脉冲宽度时钟产生寄存器 .....	186
表 15-1 不同结构通信帧的功能说明.....	187
表 15-2 GPSI 接口时钟门控相关寄存器.....	191
表 15-3 GPSI 收发控制寄存器 (SICFG, 0x2F01) .....	191
表 15-4 GPSI 通信时钟频率配置寄存器 (SITHH/SITHL, 0x2F03/0x2F02) .....	191
表 15-5 GPSI 数据寄存器 (SIDAT, 0x2F04) .....	191
表 15-6 GPSI 标志寄存器 (SIFLG, 0x2F05) .....	191
表 16-1 SEG/COM 相关多功能复用引脚寄存器配置.....	194
表 16-2 关闭 LCD 驱动电路时钟源 .....	195
表 16-3 不同的[LDO3SEL<1:0>]和[VLCD]对应的 VLCD 值 .....	195
表 16-4 1/4 Duty 模式下 SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系 .....	200

表 16-5 1/6 Duty 模式下, 6COMTYPE=0 时, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系.....	201
表 16-6 1/6 Duty 模式下, 6COMTYPE=1 时, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系.....	202
表 16-7 1/8 Duty 模式下, SEG 与显示缓冲寄存器的对应关系 .....	203
表 16-8 显示控制寄存器 (LCDCtrl, 0x2C1E) .....	205
表 16-9 LCD 时钟源控制相关寄存器.....	206
表 16-10 LCD 驱动电压控制相关寄存器 (1) .....	206
表 16-11 LCD 驱动电压控制相关寄存器 (2) .....	206
表 16-12 偏置电压模式选择相关寄存器 .....	207
表 16-13 SEG 开关控制寄存器 (R/W) .....	207
表 17-1 P0 输出使能寄存器 (P0OE, 0x28A8) .....	210
表 17-2 P0 输入使能寄存器 (P0IE, 0x28A9) .....	210
表 17-3 P0 输出数据寄存器 (P0OD, 0x28AA) .....	210
表 17-4 P0 输入数据寄存器 (P0ID, 0x28AB) .....	210
表 17-5 P1 输出使能寄存器 (P1OE, 0x28AC) .....	211
表 17-6 P1 输入使能寄存器 (P1IE, 0x28AD) .....	211
表 17-7 P1 输出数据寄存器 (P1OD, 0x28AE) .....	211
表 17-8 P1 输入数据寄存器 (P1ID, 0x28AF) .....	212
表 17-9 P1.0 功能选择寄存器 (P10FS, 0x28C4, R/W) .....	212
表 17-10 P1.1 功能选择寄存器 (P11FS, 0x28C5, R/W) .....	212
表 17-11 P1.2 功能选择寄存器 (P12FS, 0x28C6, R/W) .....	212
表 17-12 P1.3 功能选择寄存器 (P13FS, 0x28C7, R/W) .....	212
表 17-13 P1.4 功能选择寄存器 (P14FS, 0x28C8) .....	213
表 17-14 P2 输出使能寄存器 (P2OE, 0x28B0) .....	214
表 17-15 P2 输入使能寄存器 (P2IE, 0x28B1) .....	214
表 17-16 P2 输出数据寄存器 (P2OD, 0x28B2) .....	214
表 17-17 P2 输入数据寄存器 (P2ID, 0x28B3) .....	214
表 17-18 P2.0 功能选择寄存器 (P20FS, 0x28C9, R/W) .....	214
表 17-19 P2.1 功能选择寄存器 (P21FS, 0x28CA, R/W) .....	215
表 17-20 P2.2 功能选择寄存器 (P22FS, 0x28CB, R/W) .....	215
表 17-21 P2.3 功能选择寄存器 (P23FS, 0x28CC, R/W) .....	215
表 17-22 P2.4 功能选择寄存器 (P24FS, 0x28CD, R/W) .....	215
表 17-23 P2.5 功能选择寄存器 (P25FS, 0x28CE, R/W) .....	215
表 17-24 P3 输出使能寄存器 (P3OE, 0x28B4) .....	216
表 17-25 P3 输入使能寄存器 (P3IE, 0x28B5) .....	216
表 17-26 P3 输出数据寄存器 (P3OD, 0x28B6) .....	217

表 17-27 P3 输入数据寄存器 (P3ID, 0x28B7) .....	217
表 17-28 P4 输出使能寄存器 (P4OE, 0x28B8) .....	217
表 17-29 P4 输入使能寄存器 (P4IE, 0x28B9) .....	218
表 17-30 P4 输出数据寄存器 (P4OD, 0x28BA) .....	218
表 17-31 P4 输入数据寄存器 (P4ID, 0x28BB) .....	218
表 17-32 P5 输出使能寄存器 (P5OE, 0x28BC) .....	219
表 17-33 P5 输入使能寄存器 (P5IE, 0x28BD) .....	219
表 17-34 P5 输出数据寄存器 (P5OD, 0x28BE) .....	219
表 17-35 P5 输入数据寄存器 (P5ID, 0x28BF) .....	219
表 17-36 P6 输出使能寄存器 (P6OE, 0x28C0) .....	220
表 17-37 P6 输入使能寄存器 (P6IE, 0x28C1) .....	220
表 17-38 P6 输出数据寄存器 (P6OD, 0x28C2) .....	220
表 17-39 P6 输入数据寄存器 (P6ID, 0x28C3) .....	220
表 17-40 P7 输出使能寄存器 (P7OE, 0x28D5) .....	221
表 17-41 P7 输入使能寄存器 (P7IE, 0x28D6) .....	221
表 17-42 P7 输出数据寄存器 (P7OD, 0x28D7) .....	221
表 17-43 P7 输入数据寄存器 (P7ID, 0x28D8) .....	222
表 17-44 P8 输出使能寄存器 (P8OE, 0x28D9) .....	222
表 17-45 P8 输入使能寄存器 (P8IE, 0x28DA) .....	222
表 17-46 P8 输出数据寄存器 (P8OD, 0x28DB) .....	222
表 17-47 P8 输入数据寄存器 (P8ID, 0x28DC) .....	222
表 17-48 P9 输出使能寄存器 (P9OE SFR, SFR 0xA4) .....	223
表 17-49 P9 输入使能寄存器 (P9IE SFR, SFR 0xA5) .....	224
表 17-50 P9 输出数据寄存器 (P9OD SFR, SFR 0xA6) .....	224
表 17-51 P9 输入数据寄存器 (P9ID SFR, SFR 0xA7) .....	224
表 17-52 P9 功能选择寄存器 (P9FS SFR, SFR 0xAD) .....	224
表 17-53 P10 输出使能寄存器 (P10OE SFR, SFR 0xA9) .....	225
表 17-54 P10 输入使能寄存器 (P10IE SFR, SFR 0xAA) .....	226
表 17-55 P10 输出数据寄存器 (P10OD SFR, SFR 0xAB) .....	226
表 17-56 P10 输入数据寄存器 (P10ID SFR, SFR 0xAC) .....	226
表 18-1 WDT 停止计数操作 .....	227
表 18-2 WDT 溢出复位标志位 .....	228
表 18-3 WDT 时钟源相关寄存器 .....	229
表 18-4 清除 WDT 计数相关寄存器 .....	229
表 18-5 复位标志位相关寄存器 .....	230

表 19-1 RTC 密码使能寄存器 (RTCPEN SFR, 0x90) .....	232
表 19-2 RTC 密码寄存器 (RTCPWD SFR, 0x97) .....	232
表 19-3 休眠唤醒间隔设置寄存器 1 (INTRTC SFR, 0x96) .....	232
表 19-4 休眠唤醒间隔设置寄存器 2 (SECINT, 0xDF) .....	232
表 19-5 RTC 休眠唤醒复位标志位相关寄存器.....	233
表 19-6 RTC 校正寄存器 (RTCCH SFR/RTCCL SFR, 0x94/0x95) .....	233
表 19-7 RTC 数据读取寄存器 (RDRTC SFR, 0xDA) .....	233
表 19-8 高频分频门限值寄存器 (DIVTHH SFR/DIVTHM SFR/DIVTHL SFR, 0xDB/0xDC/0xDD) .....	233
表 19-9 高频计数器状态寄存器 (PLLCNTST SFR, 0xDE) .....	234
表 19-10 RTC 时间设置寄存器 (RTC 计时寄存器) .....	234

## 版本更新说明

时间	版本	修改内容
2016-6-15	V1.0	发布。
2016-6-29	V1.1	<ol style="list-style-type: none"> <li>修正原图 11-1 电能计量模块信号处理图为图 11-1 电能计量模块交流计量模式信号处理(带有带通滤波器)、图 11-2 电能计量模块交流计量模式信号处理(无带通滤波器)、图 11-3 电能计量模块直流计量模式信号处理、图 11-4 电能计量模块快速有效值检测模式信号处理等；</li> <li>LPFEN、BPFEN 合并为 MTMDSEL，即电能计量模式选择控制位；</li> <li>芯片特点描述小幅修改补充。</li> </ol>
2016-7-19	V1.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>删除电容模式测量电压相关描述。</li> <li>增加 RTCBAT 电源电压信息(3.6V)。</li> </ol>
2016-9-11	V1.3	更新芯片功耗数据。
2016-11-08	V2.0	<ol style="list-style-type: none"> <li>区分 V9911 与 V9931 在模拟比较器上的描述；</li> <li>区分 V9911 与 V9931 在 EUART 上的描述；</li> <li>更正引脚 7 为 VDD5。</li> <li>根据最新数据更新芯片功耗数据。</li> <li>统一 RTC 电源输入脚的名称为“BATRTC”。</li> </ol>
2017-04-05	V2.1	增加 100pin 封装的 V9901；修改 P2.1 功能选择寄存器，开放 PLL 输出。
2017-05-10	V2.2	增加 V9981 型号，封装是 SSOP-24。
2018-05-31	V3.0	<ol style="list-style-type: none"> <li>去除 V9981、V9931 型号。</li> <li>修改电源框图，修改 BATRTC 馈电来源为 LDO33。</li> <li>注明降频降耗计量模式不能用于温度测量。</li> <li>去除角差校正原始公式。</li> </ol>
2018-07-13	V3.1	<ol style="list-style-type: none"> <li>增加 V9981</li> <li>修改存储温度为-55~150℃</li> <li>修改电流通道和电压通道输入范围</li> <li>增加复位状态寄存器 0xC6。</li> </ol>
2019-04-08	V3.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>修改 LCD 驱动波形图</li> </ol>

时间	版本	修改内容
		<ol style="list-style-type: none"><li>2. 修改计量信号处理图</li><li>3. 修改 V9981 的 SRAM 大小</li><li>4. 解决时钟控制电路框图乱码</li></ol>