

MSP430F2xx、MSP430G2xx 系列

User' s Guide



Literature Number: ZHCU032K
DECEMBER 2004 - REVISED AUGUST 2022



请先阅读.....	23
关于本手册.....	23
德州仪器 (TI) 提供的相关文档.....	23
命名惯例	23
术语表.....	23
寄存器位惯例.....	24
1 简介.....	25
1.1 架构.....	26
1.2 灵活的时钟系统.....	26
1.3 嵌入式仿真.....	26
1.4 地址空间.....	27
1.4.1 闪存 / ROM.....	27
1.4.2 RAM.....	27
1.4.3 外设模块.....	27
1.4.4 特别功能寄存器 (SFR).....	28
1.4.5 内存组织.....	28
1.5 MSP430x2xx 系列改进和增强.....	29
2 系统复位、中断和工作模式.....	31
2.1 系统复位和初始化.....	32
2.1.1 欠压复位 (BOR).....	32
2.1.2 系统复位后的器件初始条件.....	33
2.2 中断	34
2.2.1 (不) 可屏蔽中断 (NMI).....	34
2.2.2 可屏蔽中断.....	37
2.2.3 中断处理.....	38
2.2.4 中断向量	40
2.3 操作模式.....	41
2.3.1 进入和退出低功耗模式.....	43
2.4 低功耗应用原理.....	43
2.5 未使用引脚的连接.....	44
3 CPU.....	45
3.1 CPU 介绍.....	46
3.2 CPU 寄存器.....	47
3.2.1 程序计数器 (PC).....	47
3.2.2 堆栈指针 (SP).....	48
3.2.3 状态寄存器 (SR).....	48
3.2.4 常数发生器寄存器 CG1 和 CG2.....	49
3.2.5 通用寄存器 R4 至 R15.....	50
3.3 寻址模式.....	51
3.3.1 寄存器模式.....	52
3.3.2 已索引模式.....	53
3.3.3 符号模式.....	54
3.3.4 绝对模式.....	55
3.3.5 间接寄存器模式.....	56
3.3.6 间接自动递增模式.....	57
3.3.7 立即模式.....	58

3.4 指令集.....	59
3.4.1 双操作数 (格式 I) 指令.....	60
3.4.2 单操作数 (格式 II) 指令.....	61
3.4.3 跳转.....	62
3.4.4 指令周期和长度.....	63
3.4.5 指令集说明.....	64
3.4.6 指令集详细信息.....	67
4 CPUX.....	121
4.1 CPU 介绍.....	122
4.2 中断.....	124
4.3 CPU 寄存器.....	125
4.3.1 程序计数器 (PC).....	125
4.3.2 堆栈指针 (SP).....	125
4.3.3 状态寄存器 (SR).....	126
4.3.4 常数发生器寄存器 (CG1 和 CG2).....	128
4.3.5 通用寄存器 (R4 至 R15).....	129
4.4 寻址模式.....	131
4.4.1 寄存器模式.....	132
4.4.2 已索引的模式 :.....	133
4.4.3 符号模式.....	136
4.4.4 绝对模式.....	140
4.4.5 间接寄存器模式.....	142
4.4.6 间接自动递增模式.....	143
4.4.7 立即模式.....	144
4.5 MSP430 和 MSP430X 指令.....	146
4.5.1 MSP430 指令.....	146
4.5.2 MSP430 扩展指令.....	150
4.6 指令集说明.....	163
4.6.1 扩展指令二进制说明.....	164
4.6.2 MSP430 指令.....	166
4.6.3 MSP430X 扩展指令.....	218
4.6.4 MSP430X 寻址指令.....	259
5 基本时钟模块+.....	275
5.1 基本时钟模块+ 介绍.....	276
5.2 基本时钟模块+ 的操作.....	279
5.2.1 适用于低功耗应用的基本时钟模块+ 功能.....	279
5.2.2 内部超低功耗低频振荡器 (VLO).....	279
5.2.3 LFXT1 振荡器.....	279
5.2.4 XT2 振荡器.....	280
5.2.5 数控振荡器 (DCO).....	281
5.2.6 DCO 调制器.....	282
5.2.7 基本时钟模块+ 失效防护操作.....	283
5.2.8 时钟信号的同步.....	283
5.3 基本时钟模块+ 寄存器.....	285
6 DMA 控制器.....	293
6.1 DMA 介绍.....	294
6.2 DMA 操作.....	295
6.2.1 DMA 寻址模式.....	296
6.2.2 DMA 传输模式.....	297
6.2.3 初始化 DMA 传输.....	303
6.2.4 停止 DMA 传输.....	304
6.2.5 DMA 通道的优先级.....	305
6.2.6 DMA 传输周期.....	305
6.2.7 使用带有系统中断的 DMA.....	305
6.2.8 DMA 控制器中断.....	306
6.2.9 在 DMA 控制器下使用 USCI_B I ² C 模块.....	306

6.2.10 在 DMA 控制器下使用 ADC12	306
6.2.11 在 DMA 控制器下使用 DAC12.....	307
6.2.12 在 DMA 控制器下写入闪存.....	307
6.3 DMA 寄存器.....	308
7 闪存控制器.....	317
7.1 闪存存储器介绍.....	318
7.2 闪存存储器分段.....	318
7.2.1 段 A.....	319
7.3 闪存存储器运行.....	320
7.3.1 闪存存储器时序发生器.....	320
7.3.2 擦除闪存存储器.....	321
7.3.3 写入闪存存储器.....	324
7.3.4 写入或擦除期间的闪存存储器访问.....	329
7.3.5 停止一个写入或擦除周期.....	330
7.3.6 边界读取模式.....	330
7.3.7 配置和访问闪存存储器控制器.....	330
7.3.8 闪存存储器控制器中断.....	330
7.3.9 编辑闪存存储器器件.....	331
7.4 闪存寄存器.....	332
8 数字 I/O.....	339
8.1 数字 I/O 介绍.....	340
8.2 数字 I/O 运行.....	340
8.2.1 输入寄存器 PxIN.....	340
8.2.2 输出寄存器 PxOUT.....	340
8.2.3 方向寄存器 PxDIR.....	341
8.2.4 上拉或下拉电阻器使能寄存器 PxREN.....	341
8.2.5 功能选择寄存器 PxSEL 和 PxSEL2.....	341
8.2.6 引脚振荡器.....	342
8.2.7 P1 和 P2 中断.....	343
8.2.8 配置未使用的端口引脚.....	344
8.3 输入 I/O 寄存器.....	345
8.3.1 PxIN 寄存器.....	347
8.3.2 PxOUT 寄存器.....	347
8.3.3 PxDIR 寄存器.....	347
8.3.4 PxIFG 寄存器.....	348
8.3.5 PxIES 寄存器.....	348
8.3.6 PxIE 寄存器.....	348
8.3.7 PxSEL 寄存器.....	349
8.3.8 PxSEL2 寄存器.....	349
8.3.9 PxREN 寄存器.....	350
9 电源电压监控器 (SVS).....	351
9.1 电源电压监控器 (SVS) 介绍.....	352
9.2 SVS 运行.....	353
9.2.1 配置 SVS.....	353
9.2.2 SVS 比较器运行.....	353
9.2.3 更改 VLDx 位.....	353
9.2.4 SVS 运行范围.....	354
9.3 SVS 寄存器.....	355
10 安全装置定时器+ (WDT+).....	357
10.1 安全装置定时器+ (WDT+) 介绍.....	358
10.2 安全装置定时器+ 操作.....	360
10.2.1 安全装置定时器+ 计数器.....	360
10.2.2 安全装置模式.....	360
10.2.3 间隔定时器模式.....	360
10.2.4 安全装置定时器+ 的中断.....	360
10.2.5 安全装置定时器+ 时钟故障安全操作.....	360

10.2.6 在低功耗模式下的操作.....	361
10.2.7 软件示例.....	361
10.3 安全装置定时器+ 寄存器.....	362
11 硬件乘法器.....	367
11.1 硬件乘法器介绍.....	368
11.2 硬件乘法器操作.....	368
11.2.1 操作数寄存器.....	368
11.2.2 结果寄存器.....	369
11.2.3 软件示例.....	370
11.2.4 RESLO 的间接寻址.....	371
11.2.5 使用中断.....	371
11.3 硬件乘法器寄存器.....	372
12 定时器_A.....	373
12.1 定时器_A 介绍.....	374
12.2 定时器_A 的运行.....	375
12.2.1 16 位定时器计数器.....	375
12.2.2 启动定时器.....	376
12.2.3 定时器模式控制.....	376
12.2.4 捕捉/比较区块.....	380
12.2.5 输出单元.....	381
12.2.6 定时器_A 中断.....	385
12.3 Timer_A 寄存器.....	387
13 定时器_B.....	395
13.1 定时器_B 的介绍.....	396
13.1.1 与定时器_A 的相似和不同之处.....	396
13.2 Timer_B 的操作.....	398
13.2.1 16 位定时器计数器.....	398
13.2.2 启动定时器.....	398
13.2.3 定时器模式控制.....	398
13.2.4 捕捉/比较块.....	402
13.2.5 输出单元.....	405
13.2.6 Timer_B 的中断.....	409
13.3 Timer_B 的寄存器.....	411
14 通用串行接口 (USI).....	417
14.1 USI 介绍.....	418
14.2 USI 运行.....	421
14.2.1 USI 初始化.....	421
14.2.2 USI 时钟生成.....	421
14.2.3 SPI 模式.....	422
14.2.4 I ² C 模式.....	424
14.3 USI 寄存器.....	427
15 通用串行通信接口, UART 模式.....	433
15.1 USCI 概述.....	434
15.2 USCI 简介: UART 模式.....	434
15.3 USCI 操作: UART 模式.....	436
15.3.1 USCI 初始化和复位.....	436
15.3.2 字符格式.....	436
15.3.3 异步通信格式.....	436
15.3.4 自动波特率检测.....	438
15.3.5 IrDA 编码和解码.....	440
15.3.6 自动错误检测.....	442
15.3.7 USCI 接收使能.....	442
15.3.8 USCI 发送使能.....	443
15.3.9 UART 波特率生成.....	443
15.3.10 设置一个波特率.....	445
15.3.11 发送位时序.....	446

15.3.12 接收位时序.....	446
15.3.13 典型的波特率和错误.....	448
15.3.14 在低功耗模式下 UART 模式中使用 USCI 模块.....	450
15.3.15 USCI 中断.....	450
15.4 USCI 寄存器：UART 模式.....	452
16 通用串行通信接口，SPI 模式。	463
16.1 USCI 概述.....	464
16.2 USCI 简介：SPI 模式.....	464
16.3 USCI 操作：SPI 模式.....	466
16.3.1 USCI 的初始化和复位.....	466
16.3.2 字符格式.....	467
16.3.3 主模式.....	467
16.3.4 从模式.....	468
16.3.5 SPI 使能.....	469
16.3.6 串行时钟控制.....	469
16.3.7 使用 SPI 低功耗模式.....	470
16.3.8 SPI 中断.....	470
16.4 USCI 寄存器：SPI 模式.....	472
17 通用串行通信接口，I²C 模式。	483
17.1 USCI 概述.....	484
17.2 USCI 简介：I ² C 模式.....	484
17.3 USCI 操作：I ² C 模式.....	485
17.3.1 USCI 初始化和复位.....	486
17.3.2 I ² C 串行数据.....	486
17.3.3 I ² C 寻址模式.....	487
17.3.4 I ² C 模块的运行模式.....	488
17.3.5 I ² C 时钟的发生与同步.....	496
17.3.6 在处于低功耗模式中的 I ² C 模式中使用 USCI 模块.....	498
17.3.7 I ² C 模式下的 USCI 中断.....	498
17.4 USCI 寄存器：I ² C 模式.....	500
18 USART 外设接口，USART 模式。	511
18.1 USART 简介：UART 模式.....	512
18.2 USART 操作：UART 模式.....	513
18.2.1 USART 初始化和复位.....	513
18.2.2 字符格式.....	514
18.2.3 异步通信格式.....	514
18.2.4 USART 接收使能.....	517
18.2.5 USART 发送使能.....	517
18.2.6 USART 波特率生成.....	518
18.2.7 USART 中断.....	524
18.3 USART 寄存器 - UART 模式.....	527
19 USART 外设接口，SPI 模式。	535
19.1 USART 简介：SPI 模式.....	536
19.2 USART 操作：SPI 模式.....	538
19.2.1 USART 的初始化和复位.....	538
19.2.2 主模式.....	539
19.2.3 从模式.....	539
19.2.4 SPI 使能.....	540
19.2.5 串行时钟控制.....	541
19.2.6 SPI 中断.....	542
19.3 USART 寄存器：SPI 模式.....	545
20 OA。	555
20.1 OA 介绍.....	556
20.2 OA 操作.....	557
20.2.1 OA 放大器.....	558
20.2.2 OA 输入.....	558

20.2.3 OA 输出和反馈路线.....	558
20.2.4 OA 配置.....	558
20.3 OA 寄存器.....	564
21 比较器_A+ (Comparator_A+)	567
21.1 比较器_A+ 介绍.....	568
21.2 比较器_A+ 的操作.....	569
21.2.1 比较器.....	569
21.2.2 输入模拟开关.....	569
21.2.3 输入短路开关.....	570
21.2.4 输出滤波器.....	570
21.2.5 基准电压发生器.....	571
21.2.6 Comparator_A+ 端口禁用寄存器 CAPD.....	571
21.2.7 比较器_A+ 的中断.....	571
21.2.8 Comparator_A+ 用于测量阻性元件.....	572
21.3 比较器_A+ 寄存器.....	574
22 ADC10	579
22.1 ADC10 介绍.....	580
22.2 ADC10 的运行.....	582
22.2.1 10 位 ADC 内核.....	582
22.2.2 ADC10 输入和多路器.....	582
22.2.3 基准电压发生器.....	583
22.2.4 自动关断.....	583
22.2.5 采样和转换时序.....	583
22.2.6 转换时间.....	585
22.2.7 ADC10 数据传输控制器.....	590
22.2.8 使用集成温度传感器.....	595
22.2.9 ADC10 接地和噪声注意事项.....	596
22.2.10 ADC10 中断.....	597
22.3 ADC10 寄存器.....	598
23 ADC12	607
23.1 ADC12 介绍.....	608
23.2 ADC12 的操作.....	610
23.2.1 12 位 ADC 内核.....	610
23.2.2 ADC12 输入和多路复用器.....	610
23.2.3 基准电压发生器.....	611
23.2.4 采样和转换时序.....	611
23.2.5 转换存储器.....	613
23.2.6 ADC12 转换模式.....	613
23.2.7 使用集成温度传感器.....	618
23.2.8 ADC12 接地和噪声考虑.....	619
23.2.9 ADC12 中断.....	620
23.3 ADC12 寄存器.....	622
24 TLV 结构	631
24.1 TLV 介绍.....	632
24.2 支持的标签.....	632
24.2.1 DCO 校准 TLV 结构.....	633
24.2.2 TAG_ADC12_1 校准 TLV 结构.....	634
24.3 检查段 A 的完整性.....	636
24.4 分解段 A 的 TLV 结构.....	636
25 DAC12	637
25.1 DAC12 介绍.....	638
25.2 DAC12 运行.....	640
25.2.1 DAC12 内核.....	640
25.2.2 DAC12 基准.....	640
25.2.3 更新 DAC12 电压输出.....	640
25.2.4 DAC12_xDAT 数据格式.....	641

25.2.5 DAC12 输出放大器的失调校准.....	641
25.2.6 编组多个 DAC12 模块.....	642
25.2.7 DAC12 中断.....	643
25.3 DAC12 寄存器.....	644
26 SD16_A	649
26.1 SD16_A 介绍.....	650
26.2 SD16_A 操作.....	652
26.2.1 ADC 芯片.....	652
26.2.2 模拟输入范围和可编程增益放大器 (PGA).....	652
26.2.3 基准电压发生器.....	652
26.2.4 自动断电.....	652
26.2.5 模拟输入对选择.....	652
26.2.6 模拟输入特性.....	653
26.2.7 数字滤波器.....	654
26.2.8 转换存储器寄存器 : SD16MEM0.....	658
26.2.9 转换时间.....	660
26.2.10 使用集成温度传感器.....	660
26.2.11 中断处理.....	661
26.3 SD16_A 寄存器.....	663
27 SD24_A	671
27.1 SD24_A 介绍.....	672
27.2 SD24_A 的操作.....	674
27.2.1 ADC 芯片.....	674
27.2.2 模拟输入范围和可编程增益放大器 (PGA).....	674
27.2.3 基准电压发电机.....	674
27.2.4 自动断电.....	674
27.2.5 模拟输入对的选择.....	674
27.2.6 模拟输入特性.....	675
27.2.7 数字滤波器.....	676
27.2.8 转换存储器寄存器 : SD24MEMx.....	680
27.2.9 转换时间.....	681
27.2.10 使用预置的转换操作.....	683
27.2.11 使用集成温度传感器.....	685
27.2.12 中断处理.....	685
27.3 SD24_A 寄存器.....	688
28 内嵌式仿真模块 (EEM)	697
28.1 EEM 说明.....	698
28.2 EEM 构建模块.....	700
28.2.1 触发器.....	700
28.2.2 触发序列发生器.....	700
28.2.3 状态储存 (内部跟踪缓冲器)	700
28.2.4 时钟控制.....	700
28.3 嵌入式仿真模块的配置.....	701
修订历史记录	702

插图清单

图 1-1. MSP430 架构.....	26
图 1-2. 内存映射.....	27
图 1-3. 位、字节和字位于字节格式的存储器内.....	28
图 2-1. 加电复位和加电清零电路原理图.....	32
图 2-2. 欠压时序.....	33
图 2-3. 中断优先级.....	34
图 2-4. (不) 可屏蔽中断源的方框图.....	35
图 2-5. NMI 中断处理器.....	37
图 2-6. 中断处理.....	38
图 2-7. 从中断返回.....	39

图 2-8. 'F21x1 器件的典型流耗与运行模式间的关系.....	41
图 2-9. 针对基本时钟系统的运行模式.....	42
图 3-1. CPU 结构图.....	47
图 3-2. 程序计数器.....	47
图 3-3. 堆栈计数器.....	48
图 3-4. 堆栈用法.....	48
图 3-5. PUSH SP - POP SP 序列.....	48
图 3-6. 状态寄存器位.....	48
图 3-7. 寄存器字节/字节寄存器运行.....	50
图 3-8. 操作数提取操作.....	57
图 3-9. 双操作数指令格式.....	60
图 3-10. 单操作数指令格式.....	61
图 3-11. 跳转指令格式.....	62
图 3-12. 内核指令映射.....	65
图 3-13. 递减交迭.....	84
图 3-14. 主程序中中断.....	104
图 3-15. 目标操作数 - 算术左移.....	105
图 3-16. 目标操作数 - 带进位左移.....	107
图 3-17. 目标操作数 - 算术右移.....	109
图 3-18. 目标操作数 - 带进位右移.....	110
图 3-19. 目标操作数 - 字节交换.....	117
图 3-20. 目标操作数 - 符号扩展.....	118
图 4-1. MSP430X CPU 框图.....	123
图 4-2. 存储在堆栈上用于中断的 PC.....	124
图 4-3. 程序计数器.....	125
图 4-4. 针对 CALLA 的 PC 堆栈存储.....	125
图 4-5. 堆栈指针.....	126
图 4-6. 堆栈用法.....	126
图 4-7. 堆栈上的 PUSH.A 格式.....	126
图 4-8. PUSH SP , POP SP 序列.....	126
图 4-9. SR 位.....	127
图 4-10. 寄存器-字节/字节-寄存器操作.....	129
图 4-11. 寄存器-字操作.....	129
图 4-12. 字-寄存器操作.....	130
图 4-13. 寄存器-地址字操作.....	130
图 4-14. 地址-字-寄存器操作.....	131
图 4-15. 低 64KB 中的已索引模式.....	133
图 4-16. 上部存储器中的已索引模式.....	134
图 4-17. 针对已索引模式的上溢和下溢.....	135
图 4-18. 低 64KB 中的符号模式运行那个.....	137
图 4-19. 上部存储器内的符号模式运行.....	138
图 4-20. 针对符号模式的上溢和下溢.....	139
图 4-21. MSP430 双操作数指令格式.....	146
图 4-22. MSP430 单操作数指令.....	147
图 4-23. 条件跳转指令的格式.....	148
图 4-24. 针对寄存器模式的扩展字.....	151
图 4-25. 针对非寄存器模式的扩展位.....	152
图 4-26. 针对扩展寄存器/寄存器指令的示例.....	153
图 4-27. 针对扩展立即/已索引指令的示例.....	153
图 4-28. 扩展格式 I 指令格式.....	155
图 4-29. 存储器中的 20 位地址.....	155
图 4-30. 扩展格式 II 指令格式.....	156
图 4-31. PUSHM/POPM 指令格式.....	157
图 4-32. RRCM , RRAM , RRUM 和 RLAM 指令格式.....	157
图 4-33. BRA 指令格式.....	157
图 4-34. CALLA 指令格式.....	157

图 4-35. 递减交迭.....	183
图 4-36. 一个 RET 指令之后的堆栈.....	202
图 4-37. 目标操作数 - 算术左移.....	204
图 4-38. 目标操作数 - 带进位左移.....	205
图 4-39. 算术右旋 RRA.B 和 RRA.W.....	206
图 4-40. 通过进位 RRC.B 和 RRC.W 右旋.....	207
图 4-41. 交换存储器中的字节.....	214
图 4-42. 交换寄存器中的字节.....	214
图 4-43. 用算术的方法左移 - RLAM[.W] 和 RLAM.A.....	240
图 4-44. 目标操作数 - 算术左移.....	241
图 4-45. 目标操作数 - 带进位左移.....	242
图 4-46. 算术右旋 RRAM[.W] 和 RRAM.A.....	243
图 4-47. 算术右旋 RRAX (.B, .A) - 寄存器模式.....	245
图 4-48. 算术右旋 RRAX (.B, .A) - 非寄存器模式.....	245
图 4-49. 通过进位 RRCM[.W] 和 RRCM.A 右旋.....	246
图 4-50. 通过进位 RRCX (.B, .A) 右旋-寄存器模式.....	248
图 4-51. 通过进位 RRCX (.B, .A) 右旋-非寄存器模式.....	248
图 4-52. 右旋无符号 RRUM[.W] 和 RRUM.A.....	249
图 4-53. 右旋无符号 RRUN (.B, .A) - 寄存器模式.....	250
图 4-54. 交换字节 SWPBX.A 寄存器模式.....	254
图 4-55. 在存储器中交换 SWPBX.A 字节.....	254
图 4-56. 交换字节 SWPBX[.W] 寄存器模式.....	255
图 4-57. 在存储器中交换 SWPBX[.W] 字节.....	255
图 4-58. 符号扩展 SCTX.A.....	256
图 4-59. 符号扩展 SCTX[.W].....	256
图 5-1. 基本时钟模块+ 方框图 - MSP430F2xx、MSP430G2xx.....	277
图 5-2. 基本时钟模块+ 框图 - MSP430AFE2xx.....	278
图 5-3. LFXT1 振荡器的关闭信号.....	280
图 5-4. XT2 振荡器的关闭信号.....	280
图 5-5. DCO 的开关控制.....	281
图 5-6. 典型的 DCOX 范围和 RSELx 的阶跃.....	281
图 5-7. 调制器模式.....	282
图 5-8. 振荡器故障逻辑.....	283
图 5-9. 把 MCLK 从 DCOCLK 切换至 LFXT1CLK.....	284
图 5-10. DCOCTL 寄存器.....	286
图 5-11. BCSCTL1 寄存器.....	287
图 5-12. BCSCTL2 寄存器.....	288
图 5-13. BCSCTL3 寄存器.....	289
图 5-14. IE1 寄存器.....	291
图 5-15. IFG1 寄存器.....	291
图 6-1. CAN 控制器结构图.....	295
图 6-2. DMA 寻址模式.....	296
图 6-3. DMA 单次传输的状态图.....	298
图 6-4. DMA 块传输的状态图.....	300
图 6-5. DMA 突发块传输的状态图.....	302
图 6-6. DMACTL0 寄存器.....	309
图 6-7. DMACTL1 寄存器.....	310
图 6-8. DMAxCTL 寄存器.....	311
图 6-9. DMAxSA 寄存器.....	313
图 6-10. DMAxDA 寄存器.....	314
图 6-11. DMAxSZ 寄存器.....	315
图 6-12. DMAIV 寄存器.....	316
图 7-1. 闪存存储器模块方框图.....	318
图 7-2. 闪存段, 32KB 示例.....	319
图 7-3. 闪存存储器时序发生器方框图.....	320
图 7-4. 擦除周期时序.....	321

图 7-5. 从闪存中执行的擦除周期.....	322
图 7-6. 来自 RAM 内的擦除周期.....	323
图 7-7. 字节或字写入时序.....	324
图 7-8. 从闪存发起一个字节或字写入.....	325
图 7-9. 从 RAM 启动字节或字写入.....	326
图 7-10. 块写入周期时序.....	327
图 7-11. 块写入流程.....	328
图 7-12. 用户开发的编程解决方案.....	331
图 7-13. FCTL1 寄存器.....	333
图 7-14. FCTL2 寄存器.....	334
图 7-15. FCTL3 寄存器.....	335
图 7-16. FCTL4 寄存器.....	337
图 7-17. IE1 寄存器.....	338
图 8-1. 使用引脚振荡器的示例电路和配置.....	342
图 8-2. 典型引脚振荡频率.....	343
图 8-3. PxIN 寄存器.....	347
图 8-4. PxOUT 寄存器.....	347
图 8-5. PxDIR 寄存器.....	347
图 8-6. PxIFG 寄存器.....	348
图 8-7. PxIES 寄存器.....	348
图 8-8. PxIE 寄存器.....	348
图 8-9. PxSEL 寄存器.....	349
图 8-10. PxSEL2 寄存器.....	349
图 8-11. PxREN 寄存器.....	350
图 9-1. SVS 结构图.....	352
图 9-2. SVS 运行水平和掉电/复位电路.....	354
图 9-3. SVSCTL 寄存器.....	356
图 10-1. 安全装置定时器+ 方框图.....	359
图 10-2. WDTCTL 寄存器.....	363
图 10-3. IE1 寄存器.....	364
图 10-4. IFG1 寄存器.....	365
图 11-1. 硬件乘法器方框图.....	368
图 12-1. 定时器_A 的框图.....	375
图 12-2. 向上计数模式.....	376
图 12-3. 增模式标志的置 1.....	377
图 12-4. 连续模式.....	377
图 12-5. 连续模式标志的置 1.....	377
图 12-6. 连续模式时间间隔.....	378
图 12-7. 上数/下数模式.....	378
图 12-8. 增/模式标志的置 1.....	379
图 12-9. 增/减模式的输出单元.....	379
图 12-10. 捕获信号 (SCS = 1).....	380
图 12-11. 捕捉循环.....	381
图 12-12. 输出示例 - 向上计数模式下的计时器.....	382
图 12-13. 输出示例 - 连续模式下的计时器.....	383
图 12-14. 输出示例 - 向上/向下计数模式下的计时器.....	384
图 12-15. 捕捉/比较 TACCR0 中断标志.....	385
图 12-16. TACTL 寄存器.....	388
图 12-17. TAR 寄存器.....	389
图 12-18. TACCTLx 寄存器.....	390
图 12-19. TACCRx 寄存器.....	392
图 12-20. TAIV 寄存器.....	393
图 13-1. Timer_B 的方框图.....	397
图 13-2. 增模式.....	399
图 13-3. 增模式标志的置 1.....	399
图 13-4. 连续模式.....	399

图 13-5. 连续模式标志的置 1.....	399
图 13-6. 连续模式时间间隔.....	400
图 13-7. 增/减模式.....	400
图 13-8. 增/模式标志的置 1.....	401
图 13-9. 增/减模式的输出单元.....	401
图 13-10. 捕获信号 (SCS = 1).....	402
图 13-11. 捕捉循环.....	403
图 13-12. 输出示例, 定时器处于增模式.....	406
图 13-13. 输出示例, 连续模式下的计时器.....	407
图 13-14. 输出示例, 定时器处于增/减模式.....	408
图 13-15. 捕捉/比较 TBCCR0 中断标志.....	409
图 13-16. TBCTL 寄存器.....	412
图 13-17. TBR 寄存器.....	413
图 13-18. TBCCTLx 寄存器.....	414
图 13-19. TBCCRx 寄存器.....	415
图 13-20. TBIV 寄存器.....	416
图 14-1. USI 方框图: SPI 模式.....	419
图 14-2. USI 方框图: I ² C 模式.....	420
图 14-3. SPI 时序.....	422
图 14-4. 针对 7 位 SPI 数据的数据调整.....	423
图 14-5. USICTL0 寄存器.....	428
图 14-6. USICTL1 寄存器.....	429
图 14-7. USICKCTL 寄存器.....	430
图 14-8. USICNT 寄存器.....	431
图 14-9. USISRL 寄存器.....	432
图 14-10. USISRH 寄存器.....	432
图 15-1. USCI_Ax 方框图: UART 模式 (UCSYNC = 0).....	435
图 15-2. 字符格式.....	436
图 15-3. 空闲线格式.....	437
图 15-4. 地址位多处理器格式.....	438
图 15-5. 自动波特率监测-暂停/同步序列.....	438
图 15-6. 自动波特率监测-同步域.....	439
图 15-7. UART 与 IrDA 数据格式的关系.....	440
图 15-8. 去毛刺脉冲抑制, USCI 接收未开始.....	443
图 15-9. 毛刺脉冲抑制, USCI 启动.....	443
图 15-10. BITCLK 波特率用 UCOS16=0 定时.....	444
图 15-11. 接收错误.....	447
图 15-12. UCAXCTL0 寄存器.....	453
图 15-13. UCAXCTL1 寄存器.....	454
图 15-14. UCAXBR0 寄存器.....	455
图 15-15. UCAXBR1 寄存器.....	455
图 15-16. UCAXMCTL 寄存器.....	456
图 15-17. UCAXSTAT 寄存器.....	457
图 15-18. UCAXRXBUF 寄存器.....	458
图 15-19. UCAXTXBUF 寄存器.....	458
图 15-20. UCAXIRTCTL 寄存器.....	459
图 15-21. UCAXIRRCTL 寄存器.....	459
图 15-22. UCAXABCTL 寄存器.....	460
图 15-23. IE2 寄存器.....	461
图 15-24. IFG2 寄存器.....	461
图 15-25. UC1IE 寄存器.....	462
图 15-26. UC1IFG 寄存器.....	462
图 16-1. USCI 方框图: SPI 模式.....	465
图 16-2. USCI 主控模式和外部受控模式.....	467
图 16-3. USCI 从器件和外部主器件.....	468
图 16-4. UCMSB=1 时的 USCI SPI 时序.....	470

图 16-5. UCAxCTL0、UCBxCTL0 寄存器.....	473
图 16-6. UCAxCTL1、UCBxCTL1 寄存器.....	474
图 16-7. UCAxBR0、UCBxBR0 寄存器.....	475
图 16-8. UCAxBR1、UCBxBR1 寄存器.....	475
图 16-9. UCAxSTAT、UCBxSTAT 寄存器.....	476
图 16-10. UCAxRXBUF、UCBxRXBUF 寄存器.....	477
图 16-11. UCAxTXBUF、UCBxTXBUF 寄存器.....	477
图 16-12. IE2 寄存器.....	478
图 16-13. IFG2 寄存器.....	479
图 16-14. UC1IE 寄存器.....	480
图 16-15. UC1IFG 寄存器.....	481
图 17-1. USCI 方框图：I ² C 模式.....	485
图 17-2. I ² C 总线连接框图.....	486
图 17-3. I ² C 模块数据传输.....	487
图 17-4. 在 I ² C 总线上的位传输.....	487
图 17-5. I ² C 模块 7 位寻址格式.....	487
图 17-6. I ² C 模块 10 位寻址格式.....	487
图 17-7. I ² C 模块重复起始条件的寻址格式.....	488
图 17-8. I ² C 时序线路图例.....	488
图 17-9. I ² C 从发送器模式.....	489
图 17-10. I ² C 从接收器模式.....	490
图 17-11. I ² C 从器件 10 位寻址模式.....	491
图 17-12. I ² C 主发送器模式.....	493
图 17-13. I ² C 主接收器模式.....	495
图 17-14. I ² C 主器件 10 位寻址模式.....	496
图 17-15. 在两个主发送器之间的仲裁.....	496
图 17-16. 在仲裁期间两个 I ² C 时钟发生器的同步.....	497
图 17-17. UCBxCTL0 寄存器.....	501
图 17-18. UCBxCTL1 寄存器.....	502
图 17-19. UCBxBR0 寄存器.....	503
图 17-20. UCBxBR1 寄存器.....	503
图 17-21. UCBxSTAT 寄存器.....	504
图 17-22. UCBxRXBUF 寄存器.....	505
图 17-23. UCBxTXBUF 寄存器.....	505
图 17-24. UCBxI2COA 寄存器.....	506
图 17-25. UCBxI2CSA 寄存器.....	506
图 17-26. UCBxI2CIE 寄存器.....	507
图 17-27. IE2 寄存器.....	508
图 17-28. IFG2 寄存器.....	508
图 17-29. UC1IE 寄存器.....	509
图 17-30. UC1IFG 寄存器.....	509
图 18-1. USART 方框图：UART 模式.....	513
图 18-2. 字符格式.....	514
图 18-3. 空闲线路格式.....	515
图 18-4. 地址位多处理器格式.....	516
图 18-5. 接收器使能状态图.....	517
图 18-6. 发送器使能状态图.....	518
图 18-7. MSP430 波特率发生器.....	518
图 18-8. BITCLK 波特率时序.....	519
图 18-9. 接收错误.....	522
图 18-10. 发送中断操作.....	524
图 18-11. 接收中断操作.....	524
图 18-12. 干扰抑制，USART 接收未开始.....	526
图 18-13. 干扰抑制，USART 激活.....	526
图 18-14. UxCTL 寄存器.....	528
图 18-15. UxTCTL 寄存器.....	529

图 18-16. UxRCTL 寄存器.....	530
图 18-17. UxMCTL 寄存器.....	531
图 18-18. UxBR0 寄存器.....	531
图 18-19. UxBR1 寄存器.....	531
图 18-20. UxRXBUF 寄存器.....	532
图 18-21. UxTXBUF 寄存器.....	532
图 18-22. IE1 寄存器.....	533
图 18-23. IE2 寄存器.....	533
图 18-24. IFG1 寄存器.....	534
图 18-25. IFG2 寄存器.....	534
图 19-1. USART 方框图：SPI 模式.....	537
图 19-2. USART 主器件和外部从器件.....	539
图 19-3. USART 从器件和外部主器件.....	540
图 19-4. 主器件发送使能状态结构图.....	540
图 19-5. 从器件发送使能状态结构图.....	541
图 19-6. SPI 主器件接收使能状态结构图.....	541
图 19-7. SPI 从器件接收使能状态结构图.....	541
图 19-8. SPI 波特率发生器.....	542
图 19-9. USART SPI 时序.....	542
图 19-10. 发送中断操作.....	543
图 19-11. 接收中断操作.....	544
图 19-12. 接收中断状态图.....	544
图 19-13. UxCTL 寄存器.....	546
图 19-14. UxTCTL 寄存器.....	547
图 19-15. UxRCTL 寄存器.....	548
图 19-16. UxBR0 寄存器.....	549
图 19-17. UxBR1 寄存器.....	549
图 19-18. UxMCTL 寄存器.....	549
图 19-19. UxRXBUF 寄存器.....	550
图 19-20. UxTXBUF 寄存器.....	550
图 19-21. ME1 寄存器.....	551
图 19-22. ME2 寄存器.....	551
图 19-23. IE1 寄存器.....	552
图 19-24. IE2 寄存器.....	552
图 19-25. IFG1 寄存器.....	553
图 19-26. IFG2 寄存器.....	553
图 20-1. OA 方框图.....	557
图 20-2. 两运放差分放大器.....	560
图 20-3. 两运放差分放大器 OAx 的相互连接.....	561
图 20-4. 三运放差分放大器.....	562
图 20-5. 三运放差分放大器 OAx 的相互连接.....	563
图 20-6. OAxCTL0 寄存器.....	565
图 20-7. OAxCTL1 寄存器.....	566
图 21-1. 比较器_A+ 方框图.....	568
图 21-2. 比较器_A+ 的采样和保持.....	570
图 21-3. 在比较器输出端上的 RC 滤波器响应.....	571
图 21-4. 一个 CMOS 反相器/缓冲器中的传输特性和功耗.....	571
图 21-5. 比较器_A+ 的中断系统.....	572
图 21-6. 温度测量系统.....	572
图 21-7. 温度测量系统的时序.....	573
图 21-8. CACTL1 寄存器.....	575
图 21-9. CACTL2 寄存器.....	576
图 21-10. CAPD 寄存器.....	577
图 22-1. ADC10 方框图.....	581
图 22-2. 模拟多路复用器.....	582
图 22-3. 采样时序.....	584

图 22-4. 模拟输入等效电路.....	584
图 22-5. 单通道单次转换模式.....	586
图 22-6. 通道序列模式.....	587
图 22-7. 单通道重复模式.....	588
图 22-8. 通道的重复序列模式.....	589
图 22-9. 一个块传输.....	591
图 22-10. 单块传输模式下数据传输控制的状态图.....	592
图 22-11. 两个块传输.....	593
图 22-12. 两块传输模式下数据传输控制的状态图.....	594
图 22-13. 典型的温度传感器传输功能.....	596
图 22-14. ADC10 接地和噪声注意事项 (内部 V_{REF})	596
图 22-15. ADC10 接地和噪声注意事项 (外部 V_{REF})	597
图 22-16. ADC10 中断系统.....	597
图 22-17. ADC10CTL0 寄存器.....	599
图 22-18. ADC10CTL1 寄存器.....	601
图 22-19. ADC10AE0 寄存器.....	603
图 22-20. ADC10AE1 寄存器.....	603
图 22-21. ADC10MEM 寄存器.....	604
图 22-22. ADC10DTC0 寄存器.....	605
图 22-23. ADC10DTC1 寄存器.....	605
图 22-24. ADC10SA 寄存器.....	606
图 23-1. ADC12 方框图.....	609
图 23-2. 模拟多路复用器.....	610
图 23-3. 扩展的采样模式.....	612
图 23-4. 脉冲采样模式.....	612
图 23-5. 模拟输入等效电路.....	613
图 23-6. 单通道, 单次转换模式.....	614
图 23-7. 通道序列模式.....	615
图 23-8. 单通道重复模式.....	616
图 23-9. 通道的重复序列模式.....	617
图 23-10. 典型的温度传感器传输功能.....	619
图 23-11. ADC12 接地和噪声考虑.....	620
图 23-12. ADC12CTL0 寄存器.....	623
图 23-13. ADC12CTL1 寄存器.....	625
图 23-14. ADC12IFG 寄存器.....	627
图 23-15. ADC12IE 寄存器.....	627
图 23-16. ADC12IV 寄存器.....	628
图 23-17. ADC12MCTLx 寄存器.....	629
图 23-18. ADC12MEMx 寄存器.....	630
图 25-1. DAC12 方框图.....	639
图 25-2. 输出电压与 DAC12 数据, 12 位, 直节二进制模式.....	641
图 25-3. 输出电压与 DAC12 数据, 12 位, 2 补码模式.....	641
图 25-4. 负偏移.....	642
图 25-5. 正偏移.....	642
图 25-6. DAC12 组更新举例, 定时器_A3 触发器.....	643
图 25-7. DAC12_xCTL 寄存器.....	645
图 25-8. DAC12_xDAT 寄存器.....	647
图 26-1. SD16_A 方框图.....	651
图 26-2. 模拟输入等效电路.....	653
图 26-3. 梳状滤波器的频率响应, $OSR = 32$	654
图 26-4. 数字滤波器的阶跃响应和转换点.....	655
图 26-5. 已使用位的数字滤波器输出.....	657
图 26-6. 输入电压与数字输出.....	659
图 26-7. 单通道操作.....	660
图 26-8. 典型的温度传感器传输函数.....	661
图 26-9. SD16CTL 寄存器.....	664

图 26-10. SD16CCTL0 寄存器.....	665
图 26-11. SD16MEM0 寄存器.....	667
图 26-12. SD16INCTL0 寄存器.....	668
图 26-13. SD16AE 寄存器.....	669
图 26-14. SD16IV 寄存器.....	670
图 27-1. SD24_A 模块框图.....	673
图 27-2. 模拟输入等效电路.....	675
图 27-3. OSR= 32 的梳状滤波器的频率响应.....	677
图 27-4. 数字滤波器的阶跃响应和转换点.....	677
图 27-5. 已使用位的数字滤波器输出.....	679
图 27-6. 输入电压与数字输出.....	681
图 27-7. 单通道操作 - 示例.....	682
图 27-8. 集合通道操作 - 示例.....	683
图 27-9. 转换延迟预置- 示例.....	684
图 27-10. 使用预置的转换的开始 - 示例.....	684
图 27-11. 预至和通道同步.....	685
图 27-12. 典型的温度传感器传输函数.....	685
图 27-13. SD24CTL 寄存器.....	689
图 27-14. SD24IV 寄存器.....	690
图 27-15. SD24AE 寄存器.....	691
图 27-16. SD24CCTLx 寄存器.....	692
图 27-17. SD24MEMx 寄存器.....	694
图 27-18. SD24INCTLx 寄存器.....	695
图 27-19. SD24PREx 寄存器.....	696
图 28-1. 嵌入式仿真模块 (EEM) 的大应用.....	699

表格清单

表 1-1. MSP430x2xx 系列改进和增强.....	29
表 2-1. 中断源、标志、和向量.....	40
表 2-2. 针对基本时钟系统的运行模式.....	42
表 2-3. 未使用引脚的连接.....	44
表 3-1. 状态寄存器位说明.....	49
表 3-2. 常数发生器 CG1, CG2 的值.....	49
表 3-3. 源和目标操作数寻址模式.....	51
表 3-4. 寄存器模式说明.....	52
表 3-5. 已索引模式说明.....	53
表 3-6. 符号模式说明.....	54
表 3-7. 绝对模式说明.....	55
表 3-8. 间接模式说明.....	56
表 3-9. 间接自动递增模式说明.....	57
表 3-10. 立即模式说明.....	58
表 3-11. 双操作数指令.....	60
表 3-12. 单操作数指令.....	61
表 3-13. 跳转指令.....	62
表 3-14. 中断和复位周期.....	63
表 3-15. 格式 II 指令周期和长度.....	63
表 3-16. 格式 1 指令周期和长度.....	64
表 3-17. MSP430 指令集.....	65
表 4-1. SR 位说明.....	127
表 4-2. 常数发生器 CG1, CG2 的值.....	128
表 4-3. 源/目的寻址.....	131
表 4-4. MSP430 双操作数指令.....	147
表 4-5. MSP430 单操作数指令.....	147
表 4-6. 条件跳转指令.....	148
表 4-7. 仿真指令.....	148
表 4-8. 中断、返回、和复位周期以及长度.....	149

表 4-9. MSP430 格式 II 指令周期和长度.....	149
表 4-10. MSP430 格式 I 指令周期和长度.....	150
表 4-11. 针对寄存器模式的扩展字的说明.....	151
表 4-12. 针对非寄存器模式的扩展字的说明.....	152
表 4-13. 扩展双操作数指令.....	154
表 4-14. 扩展单操作数指令.....	156
表 4-15. 扩展仿真指令.....	158
表 4-16. 寻址指令, 在 20 位寄存器数据上运行.....	159
表 4-17. MSP430X 格式 II 指令周期和长度.....	160
表 4-18. MSP430X 格式 I 指令周期和长度.....	161
表 4-19. 寻址指令周期和长度.....	162
表 4-20. MSP430X 的指令映射.....	163
表 5-1. 基本时钟模块+ 寄存器.....	285
表 5-2. DCOCTL 寄存器字段说明.....	286
表 5-3. BCSCTL1 寄存器字段说明.....	287
表 5-4. BCSCTL2 寄存器字段说明.....	288
表 5-5. BCSCTL3 寄存器字段说明.....	289
表 5-6. IE1 寄存器字段说明.....	291
表 5-7. IFG1 寄存器字段说明.....	291
表 6-1. DMA 传输模式.....	297
表 6-2. DMA 触发操作.....	303
表 6-3. 通道的优先级.....	305
表 6-4. 最大单次传输 DMA 周期.....	305
表 6-5. DMA 寄存器.....	308
表 6-6. DMACTL0 寄存器字段说明.....	309
表 6-7. DMACTL1 寄存器字段说明.....	310
表 6-8. DMAxCTL 寄存器字段说明.....	311
表 6-9. DMAxSA 寄存器字段说明.....	313
表 6-10. DMAxDA 寄存器字段说明.....	314
表 6-11. DMAxSZ 寄存器字段说明.....	315
表 6-12. DMAIV 寄存器字段说明.....	316
表 6-13. DMA 中断向量值.....	316
表 7-1. 擦除模式.....	321
表 7-2. 写入模式.....	324
表 7-3. BUSY = 1 时的闪存访问.....	329
表 7-4. 闪存存储器寄存器.....	332
表 7-5. FCTL1 寄存器字段说明.....	333
表 7-6. 擦除周期.....	333
表 7-7. FCTL2 寄存器字段说明.....	334
表 7-8. FCTL3 寄存器字段说明.....	335
表 7-9. FCTL4 寄存器字段说明.....	337
表 7-10. IE1 寄存器字段说明.....	338
表 8-1. PxSEL 和 PxSEL2.....	341
表 8-2. 数字 I/O 寄存器.....	345
表 8-3. PxIN 寄存器说明.....	347
表 8-4. PxOUT 寄存器说明.....	347
表 8-5. P1DIR 寄存器说明.....	347
表 8-6. PxIFG 寄存器说明.....	348
表 8-7. PxIES 寄存器说明.....	348
表 8-8. PxIE 寄存器说明.....	348
表 8-9. PxSEL 寄存器描述.....	349
表 8-10. PxSEL2 寄存器说明.....	349
表 8-11. PxREN 寄存器说明.....	350
表 9-1. SVS 寄存器.....	355
表 9-2. SVSCTL 寄存器字段说明.....	356
表 10-1. 安全装置定时器+ 寄存器.....	362

表 10-2. WDTCTL 寄存器字段说明.....	363
表 10-3. IE1 寄存器字段说明.....	364
表 10-4. IFG1 寄存器字段说明.....	365
表 11-1. OP1 的各地址.....	369
表 11-2. RESHI 的内容.....	369
表 11-3. SUMEXT 的内容.....	369
表 11-4. 硬件乘法器寄存器.....	372
表 12-1. 定时器模式.....	376
表 12-2. 输出模式.....	381
表 12-3. Timer_A 寄存器.....	387
表 12-4. TACTL 寄存器字段说明.....	388
表 12-5. TAR 寄存器字段说明.....	389
表 12-6. TACCTLx 寄存器字段说明.....	390
表 12-7. TACCRx 寄存器字段说明.....	392
表 12-8. TAIV 寄存器字段说明.....	393
表 12-9. Timer_A 中断向量.....	393
表 13-1. 定时器模式.....	398
表 13-2. TBCLx 加载事件.....	404
表 13-3. 比较锁存器的操作模式.....	404
表 13-4. 输出模式.....	405
表 13-5. Timer_B 的寄存器.....	411
表 13-6. TBCTL 寄存器字段说明.....	412
表 13-7. TBR 寄存器字段说明.....	413
表 13-8. TBCCTLx 寄存器字段说明.....	414
表 13-9. TBCCRx 寄存器字段说明.....	415
表 13-10. TBIV 寄存器字段说明.....	416
表 13-11. Timer_B 中断向量.....	416
表 14-1. USI 寄存器.....	427
表 14-2. 到 USI 寄存器的字访问.....	427
表 14-3. USICTL0 寄存器字段说明.....	428
表 14-4. USICTL1 寄存器字段说明.....	429
表 14-5. USICKCTL 寄存器字段说明.....	430
表 14-6. USICNT 寄存器字段说明.....	431
表 14-7. USISRL 寄存器字段说明.....	432
表 14-8. USISRH 寄存器字段说明.....	432
表 15-1. 接收错误条件.....	442
表 15-2. BITCLK 的调制模式.....	444
表 15-3. BITCLK 的调制模式.....	444
表 15-4. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16= 0.....	448
表 15-5. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16=1.....	449
表 15-6. USCI_Ax 控制和状态寄存器.....	452
表 15-7. UCAXCTL0 寄存器字段说明.....	453
表 15-8. UCAXCTL1 寄存器字段说明.....	454
表 15-9. UCAXBR0 寄存器字段说明.....	455
表 15-10. UCAXBR1 寄存器字段说明.....	455
表 15-11. UCAXMCTL 寄存器字段说明.....	456
表 15-12. UCAXSTAT 寄存器字段说明.....	457
表 15-13. UCAXRXBUF 寄存器字段说明.....	458
表 15-14. UCAXTXBUF 寄存器字段说明.....	458
表 15-15. UCAXIRTCTL 寄存器字段说明.....	459
表 15-16. UCAXIRRCTL 寄存器字段说明.....	459
表 15-17. UCAXABCTL 寄存器字段说明.....	460
表 15-18. IE2 寄存器字段说明.....	461
表 15-19. IFG2 寄存器字段说明.....	461
表 15-20. UC1IE 寄存器字段说明.....	462
表 15-21. UC1IFG 寄存器字段说明.....	462

表 16-1. UCxSTE 的操作.....	466
表 16-2. USCI_Ax 和 USCI_Bx 控制和状态寄存器.....	472
表 16-3. UCAxCTL0、UCBxCTL0 寄存器字段说明.....	473
表 16-4. UCAxCTL1、UCBxCTL1 寄存器字段说明.....	474
表 16-5. UCAxBR0、UCBxBR0 寄存器字段说明.....	475
表 16-6. UCAxBR1、UCBxBR1 寄存器字段说明.....	475
表 16-7. UCAxSTAT、UCBxSTAT 寄存器字段说明.....	476
表 16-8. UCAxRXBUF、UCBxRXBUF 寄存器字段说明.....	477
表 16-9. UCAxTXBUF、UCBxTXBUF 寄存器字段说明.....	477
表 16-10. IE2 寄存器字段说明.....	478
表 16-11. IFG2 寄存器字段说明.....	479
表 16-12. UC1IE 寄存器字段说明.....	480
表 16-13. UC1IFG 寄存器字段说明.....	481
表 17-1. 状态更改中断标志.....	498
表 17-2. USCI_Bx 控制和状态寄存器.....	500
表 17-3. UCBxCTL0 寄存器字段说明.....	501
表 17-4. UCBxCTL1 寄存器字段说明.....	502
表 17-5. UCBxBR0 寄存器字段说明.....	503
表 17-6. UCBxBR1 寄存器字段说明.....	503
表 17-7. UCBxSTAT 寄存器字段说明.....	504
表 17-8. UCBxRXBUF 寄存器字段说明.....	505
表 17-9. UCBxTXBUF 寄存器字段说明.....	505
表 17-10. UCBxI2COA 寄存器字段说明.....	506
表 17-11. UCBxI2CSA 寄存器字段说明.....	506
表 17-12. UCBxI2CIE 寄存器字段说明.....	507
表 17-13. IE2 寄存器字段说明.....	508
表 17-14. IFG2 寄存器字段说明.....	508
表 17-15. UC1IE 寄存器字段说明.....	509
表 17-16. UC1IFG 寄存器字段说明.....	509
表 18-1. 接收错误条件.....	517
表 18-2. 常用的波特率，波特率数据和误差.....	523
表 18-3. USARTx 寄存器 - UART 模式.....	527
表 18-4. UxCTL 寄存器字段说明.....	528
表 18-5. UxTCTL 寄存器字段说明.....	529
表 18-6. UxRCTL 寄存器字段说明.....	530
表 18-7. UxMCTL 寄存器字段说明.....	531
表 18-8. UxBR0 寄存器字段说明.....	531
表 18-9. UxBR1 寄存器字段说明.....	531
表 18-10. UxRXBUF 寄存器字段说明.....	532
表 18-11. UxTXBUF 寄存器字段说明.....	532
表 18-12. IE1 寄存器字段说明.....	533
表 18-13. IE2 寄存器字段说明.....	533
表 18-14. IFG1 寄存器字段说明.....	534
表 18-15. IFG2 寄存器字段说明.....	534
表 19-1. USARTx 控制和状态寄存器.....	545
表 19-2. UxCTL 寄存器字段说明.....	546
表 19-3. UxTCTL 寄存器字段说明.....	547
表 19-4. UxRCTL 寄存器字段说明.....	548
表 19-5. UxBR0 寄存器字段说明.....	549
表 19-6. UxBR1 寄存器字段说明.....	549
表 19-7. UxMCTL 寄存器字段说明.....	549
表 19-8. UxRXBUF 寄存器字段说明.....	550
表 19-9. UxTXBUF 寄存器字段说明.....	550
表 19-10. ME1 寄存器字段说明.....	551
表 19-11. ME2 寄存器字段说明.....	551
表 19-12. IE1 寄存器字段说明.....	552

表 19-13. IE2 寄存器字段说明.....	552
表 19-14. IFG1 寄存器字段说明.....	553
表 19-15. IFG2 寄存器字段说明.....	553
表 20-1. OA 输出配置.....	558
表 20-2. OA 模式选择.....	558
表 20-3. 两运放差分放大器控制寄存器设置.....	560
表 20-4. 两运放差分放大器增益设置.....	560
表 20-5. 三运放差分放大器控制寄存器设置.....	562
表 20-6. 三运放差分放大器增益设置.....	562
表 20-7. OA 寄存器.....	564
表 20-8. OAxCTL0 寄存器字段说明.....	565
表 20-9. OAxCTL1 寄存器字段说明.....	566
表 21-1. 比较器_A+ 寄存器.....	574
表 21-2. CACTL1 寄存器字段说明.....	575
表 21-3. CACTL2 寄存器字段说明.....	576
表 21-4. CAPD 寄存器字段说明.....	577
表 22-1. 转换模式概述.....	585
表 22-2. 最大 DTC 周期时间.....	595
表 22-3. ADC10 寄存器.....	598
表 22-4. ADC10CTL0 寄存器字段说明.....	599
表 22-5. ADC10CTL1 寄存器字段说明.....	601
表 22-6. ADC10AE0 寄存器字段说明.....	603
表 22-7. ADC10AE1 寄存器字段说明.....	603
表 22-8. ADC10MEM 寄存器字段说明.....	604
表 22-9. ADC10DTC0 寄存器字段说明.....	605
表 22-10. ADC10DTC1 寄存器字段说明.....	605
表 22-11. ADC10SA 寄存器字段说明.....	606
表 23-1. 转换模式概述.....	613
表 23-2. ADC12 寄存器.....	622
表 23-3. ADC12CTL0 寄存器字段说明.....	623
表 23-4. ADC12CTL1 寄存器字段说明.....	625
表 23-5. ADC12IFG 寄存器字段说明.....	627
表 23-6. ADC12IE 寄存器字段说明.....	627
表 23-7. ADC12IV 寄存器字段说明.....	628
表 23-8. ADC12 中断向量值.....	628
表 23-9. ADC12MCTLx 寄存器字段说明.....	629
表 23-10. ADC12MEM0 寄存器字段说明.....	630
表 24-1. 示例 SegmentA 结构.....	632
表 24-2. 支持的标签 (特定于器件).....	633
表 24-3. DCO 校准数据 (特定于器件).....	633
表 24-4. TAG_ADC12_1 校准数据 (特定于器件).....	634
表 25-1. DAC12 满量程范围 ($V_{REF}=V_{eREF+}$ 或 V_{REF+}).....	640
表 25-2. DAC12 寄存器.....	644
表 25-3. DAC12_xCTL 寄存器字段说明.....	645
表 25-4. DAC12 放大器设置.....	646
表 25-5. DAC12_xDAT 寄存器字段说明.....	647
表 25-6. DAC12 数据格式.....	647
表 26-1. 高输入阻抗缓冲器.....	653
表 26-2. 采样电容.....	653
表 26-3. 数据格式.....	658
表 26-4. 转换模式汇总.....	660
表 26-5. SD16_A 寄存器.....	663
表 26-6. SD16CTL 寄存器字段说明.....	664
表 26-7. SD16CCTL0 寄存器字段说明.....	665
表 26-8. SD16MEM0 寄存器字段说明.....	667
表 26-9. SD16INCTL0 寄存器字段说明.....	668

表 26-10. SD16AE 寄存器字段说明.....	669
表 26-11. SD16IV 寄存器字段说明.....	670
表 26-12. SD16_A 中断向量.....	670
表 27-1. 高输入阻抗缓冲器.....	675
表 27-2. 采样电容.....	676
表 27-3. 数据格式.....	680
表 27-4. 转换模式总结.....	681
表 27-5. SD24_A 寄存器.....	688
表 27-6. SD24CTL 寄存器字段说明.....	689
表 27-7. SD24IV 寄存器字段说明.....	690
表 27-8. SD24_A 中断向量.....	690
表 27-9. SD24AE 寄存器字段说明.....	691
表 27-10. SD24CCTL0 寄存器字段说明.....	692
表 27-11. SD24MEM0 寄存器字段说明.....	694
表 27-12. SD24INCTL0 寄存器字段说明.....	695
表 27-13. SD24PRE0 寄存器字段说明.....	696
表 28-1. 2xx 嵌入式仿真模块的配置.....	701



关于本手册

本手册介绍了 MSP430F2xx 和 MSP430G2xx 微控制器 (MCU) 的模块和外设。每章都介绍了模块或外设的所有特性和功能，但并非所有器件都包含所有模块或外设的全部特性和功能。此外，不同的产品系列，其外设模块的功能实现也会有所不同，或者，在某个单独的产品，或者系列上，没有完全实现某些功能。有关每个外设支持的功能，请参阅器件特定数据表。

引脚功能，内部信号连接和操作参数都因器件不同而各异。有关这些详细信息，请参阅器件特定数据表。

德州仪器 (TI) 提供的相关文档

如需了解相关文档，请访问 [MSP430™ 超低功耗检测和测量 MCU 概述](#)。

命名惯例

本文档使用以下惯例。

- 十六进制数可以用后缀 **h** 或前缀 **0x** 显示。例如，以下数字是十六进制的 40 (十进制的 64) : 40h 或 0x40。
- 本文档中的寄存器如图所示、并在表中进行介绍。
 - 每个寄存器图都显示一个矩形、该矩形被划分为代表寄存器字段的字段。每个字段都标有其位名称、其起始位和结束位编号、其读/写属性及以下默认复位值。图例解释了用于属性的符号。
 - 寄存器图中的保留位可以有多种含义之一：
 - 未在器件上实现
 - 保留用于未来的器件扩展
 - 保留用于 TI 测试
 - 不支持的器件保留配置
 - 向保留位写入非默认值可能会导致意外行为、应避免此类行为。

术语表

ACLK	辅助时钟	请参阅基本时钟模块一章
ADC	模数转换器	
BOR	欠压复位	请参阅系统复位、中断和工作模式一章
BSL	引导加载程序	
CPU	中央处理器	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
DAC	数模转换器	
DCO	数字控制振荡器	请参阅基本时钟模块一章
dst	目的	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
FLL	锁频环	
GIE	通用中断使能	请参阅系统复位、中断和工作模式一章
INT (N/2)	N/2 的整数部分	
I/O	输入/输出	请参阅数字 I/O 一章
ISR	中断服务例程	
LSB	最低有效位	
LSD	最低有效数字	

LPM	低功耗模式	请参阅 系统复位、中断和工作模式一章
MAB	存储器地址总线	
MCLK	主时钟	请参阅 基本时钟模块一章
MDB	存储器数据总线	
MSB	最高有效位	
MSD	最高有效数字	
NMI	(不)可屏蔽中断	请参阅 系统复位、中断和工作模式一章
PC	程序计数器	请参阅 RISC 16 位 CPU
POR	加电复位	请参阅 系统复位、中断和工作模式一章
PUC	上电清除	请参阅 系统复位、中断和工作模式一章
RAM	随机存取存储器	
SCG	系统时钟发生器	请参阅 系统复位、中断和工作模式一章
SFR	特殊功能寄存器	
SMCLK	子系统主时钟	请参阅 基本时钟模块一章
SP	栈指针	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
SR	状态寄存器	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
src	源	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
TOS	栈顶	请参阅 CPU 或 CPUX 一章
WDT	看门狗计时器	请参阅 看门狗计时器一章

寄存器位惯例

每个寄存器用一个键表示出每个单独的位的可用性，以及初始条件：

寄存器位的可用性和初始条件

键	位可访问性
rw	读取/写入
r	只读
r0	读为 0
r1	读为 1
w	只写入
w0	写为 0
w1	写为 1
(w)	没有寄存器位被执行；在一个脉冲中写入一个 1 结果。寄存器位始终读为 0。
h0	由硬件清零
h1	由硬件置 1
-0,-1	PUC 后的条件
-(0),-(1)	POR 后的条件



本章对 MSP430 的架构进行了说明。

1.1 架构	26
1.2 灵活的时钟系统	26
1.3 嵌入式仿真	26
1.4 地址空间	27
1.5 MSP430x2xx 系列改进和增强	29

1.1 架构

MSP430 包含一个 16 位 RISC CPU、多个外设和一个灵活的时钟系统，这些部件使用冯·诺依曼公共存储器地址总线 (MAB) 和存储器数据总线 (MDB) 进行互连 (请参阅图 1-1)。通过将现代 CPU 与模块化存储器映射模拟和数字外设搭配使用，MSP430 可以为要求严苛的混合信号应用提供解决方案。

MSP430x2xx 系列的特性包括：

- 超低功耗架构延长了电池寿命
 - 0.1 μ A RAM 保持模式
 - 0.8 μ A 实时时钟模式
 - 250 μ A/MIPS 工作模式
- 高性能模拟非常适合精密测量
 - 针对测量电阻式元件的比较器栅极定时器
- 16 位 RISC CPU 可使用一小部分代码来实现全新应用。
 - 大寄存器文件去除了工作文件瓶颈
 - 紧凑内核设计减少了功耗和成本
 - 针对最新高级编程进行了优化
 - 只有 27 个内核指令和 7 个寻址模式
 - 扩展矢量化中断功能
- 系统内可编程闪存支持灵活的代码更改、现场升级和数据记录

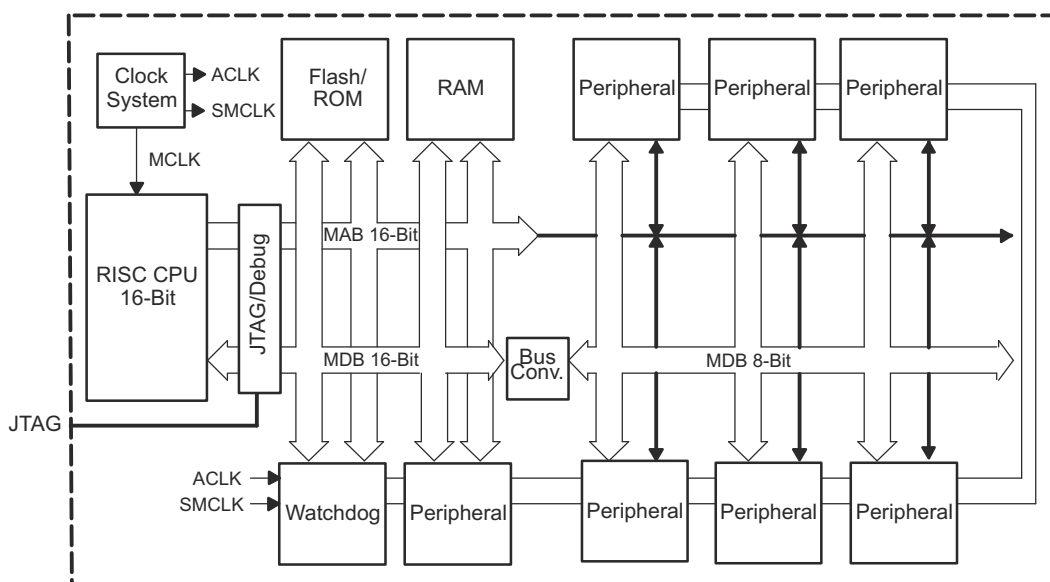


图 1-1. MSP430 架构

1.2 灵活的时钟系统

时钟系统专门为电池供电类应用而设计。低频辅助时钟 (ACLK) 直接由一个常见的 32kHz 手表晶体驱动。ACLK 可用于后台实时时钟自唤醒功能。集成高速数控振荡器 (DCO) 可为 CPU 和高度外设所使用的主控时钟 (MCLK) 供源。通过设计，DCO 被激活并且 1MHz 时，稳定时间少于 2 μ s。基于 MSP430 的解决方案在非常短的脉冲串中有效地使用高性能 16 位 RISC CPU。

- 低频辅助时钟=超低功耗待机模式
- 高速主控时钟=高性能信号处理

1.3 嵌入式仿真

专用的嵌入式仿真逻辑驻留在器件本身之上，无需使用额外的系统资源即可通过 JTAG 进行访问。

嵌入式仿真的优势包括：

- 支持低调的开发和调试，可以在应用程序中实现全速执行、断点和单步执行。
- 系统内开发具有与最终应用程序一样的特性。
- 混合信号完整性得以保留，不受布线的干扰。

1.4 地址空间

MSP430 冯·诺依曼结构具有一个与特殊功能寄存器 (SFR)、外设、RAM 和闪存/ROM 存储器共享的地址空间，如图 1-2 所示。特定存储器映射请参阅器件专用数据表。代码访问始终在偶数地址上执行。数据可作为字节或字进行访问。

现在可寻址存储器空间为 128KB。

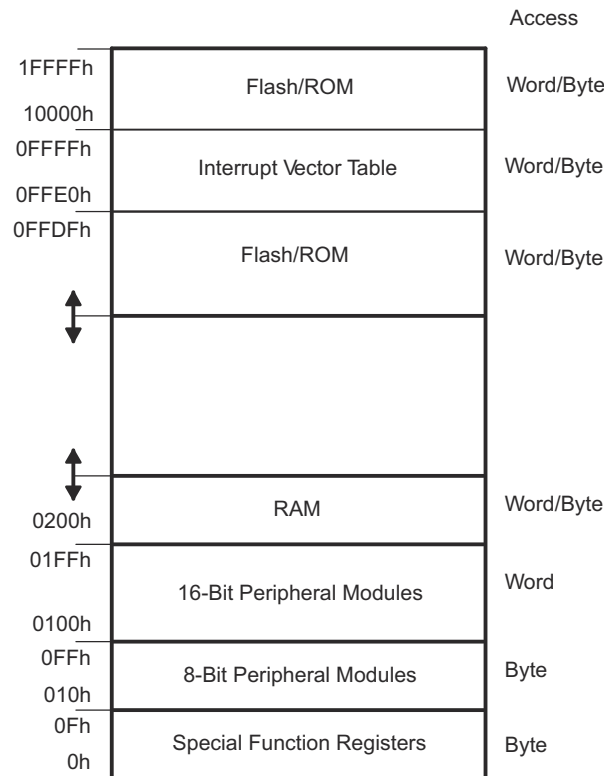


图 1-2. 内存映射

1.4.1 闪存 / ROM

闪存/ROM 的起始地址取决于闪存/ROM 量并因器件而异。针对具有少于 60KB 闪存 / ROM 的器件，闪存 / ROM 的末尾地址为 0x0FFFF。闪存可用于存储代码和数据。字或字节表可以在闪存/ROM 中存储和使用，而无需在使用前将这些表复制到 RAM 中。

中断向量表映射到闪存/ROM 地址空间的 16 个高位字，优先级最高的中断向量位于最高的闪存/ROM 字地址 (0x0FFFE)处。

1.4.2 RAM

RAM 从 0200h 开始。RAM 的结束地址取决于 RAM 量并因器件而异。RAM 可被用于代码和数据。

1.4.3 外设模块

外设模块被映射到地址空间。从 0100 至 01FFh 的地址空间为 16 位外设模块所保留。应使用字指令访问这些模块。如果使用字节指令，则只允许使用偶数地址，结果的高位字节始终为 0。

从 010h 到 0FFh 的地址空间为 8 位外设模块所保留。应使用字节指令访问这些模块。如果使用字指令对字节模块进行访问，则会导致高位字节中出现不可预测的数据。如果将字数据写入字节模块，则仅会将低字节写入外设寄存器，忽略高位字节。

1.4.4 特别功能寄存器 (SFR)

在 SFR 中配置某些外设功能。SFR 位于地址空间的 16 个低字节，并按字节组织。只能使用字节指令来访问 SFR。适用的 SFR 位请参阅器件专用数据表。

1.4.5 内存组织

字节位于偶数或者奇数地址内。字仅位于偶数地址，如图 1-3 所示。当使用字指令时，只可使用偶数地址。字的低字节始终位于偶数地址。高字节位于下一个奇数地址。例如，如果数据字位于地址 xxx4h，则该数据字的低位字节位于地址 xxx4h，而该字的高位字节位于地址 xxx5h。

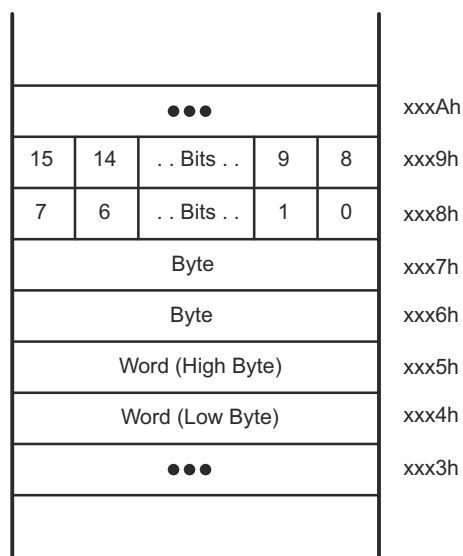


图 1-3. 位、字节和字位于字节格式的存储器内

1.5 MSP430x2xx 系列改进和增强

表 1-1 突出强调了对 MSP430x2xx 系列的改进和增强。以下各章全面讨论了各个增强功能，如果器件参数得到了改进，则器件特定数据表中会展示相关增强功能。

表 1-1. MSP430x2xx 系列改进和增强

主题	改进和增强
复位	<ul style="list-style-type: none"> 所有 MSP430x2xx 器件都包含掉电复位。 IFG1 中已添加了 PORIFG 和 RSTIFG 标志，以指示复位的原因。 从地址范围 0x0000 - 0x01FF 提取指令将复位器件。
安全装置定时器	<ul style="list-style-type: none"> 所有 MSP430x2xx 器件集成了安全装置 Timer+ 模块 (WDT+)。WDT+ 可确保计时器的时钟源永不禁用。
基本时钟系统	<ul style="list-style-type: none"> LFXT1 振荡器在 LF 模式下具有可选的负载电容器。 LFXT1 支持处于 LF 模式中的高达 16MHz 的晶振。 LFXT1 包括处于 LF 模式中的振荡器故障检测。 在 20 引脚和 28 引脚器件上，XIN 和 XOUT 引脚是共享功能引脚。 某些器件不支持 DCO 的外部 R_{OSC} 功能。在这种情况下，软件不应该设定 BCSCCTL2 寄存器内的 LSB。相关详细信息，请参阅器件特定数据表。 DCO 的工作频率已显著提高。 DCO 温度稳定性已显著提高。
闪存存储器	<ul style="list-style-type: none"> 信息存储器有 4 个每个大小为 64 字节的段。 段 A 用 LOCKA 位单独锁定。 所有信息都通过 LOCKA 位得到保护，不会被批量擦除。 段擦除可由一个中断来中断。 可使用一个中断来中止闪存升级。 闪存编程电压已经被降低到 2.2V。 编程/擦除电压已经被减少。 时钟故障中止一个闪存升级。
数字 I/O	<ul style="list-style-type: none"> 所有端口都具有集成上拉/下拉电阻器。 P2.6 和 P2.7 功能已经被添加到 20 和 28 引脚器件。这些功能是与 XIN 和 XOUT 共享的功能。如果需要晶体操作，则软件不得清除这些引脚的 P2SELx 位。
Comparator_A	<ul style="list-style-type: none"> Comparator_A 已经通过一个全新的输入多路复用器扩展了输入功能。
低功耗	<ul style="list-style-type: none"> 在 3V 电压下，典型的 LPM3 电流消耗降低了近 50%。 DCO 启动时间已经被大大减少。
运行频率	<ul style="list-style-type: none"> 3.3V 时的最大运行频率为 16MHz。
引导加载程序 (BSL)	<ul style="list-style-type: none"> 一个不正确的密码会引起一个批量擦除。 BSL 进入序列更加稳健，可防止意外进入和擦除。

This page intentionally left blank.

章节 2
系统复位、中断和工作模式



本章介绍了 MSP430x2xx 系统复位、中断和工作模式。

2.1 系统复位和初始化.....	32
2.2 中断	34
2.3 操作模式.....	41
2.4 低功耗应用原理.....	43
2.5 未使用引脚的连接.....	44

2.1 系统复位和初始化

显示在图 2-1 中的系统复位电路提供一个加电复位 (POR) 和一个加电清零 (PUC) 信号。这些复位信号由不同的事件触发，并且由于各自的信号不同，初始化条件也不同。

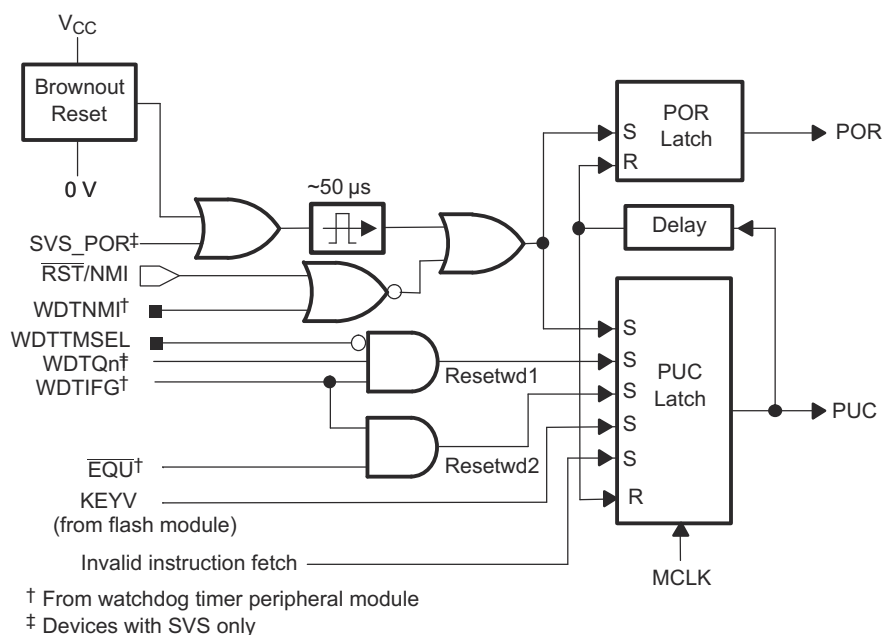


图 2-1. 加电复位和加电清零电路原理图

一个 POR 是一个器件复位。只有下列事件生成一个 POR：

- 为器件加电
- 当配置为复位模式时 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚上产生低电平信号
- 当 $\text{PORON}=1$ 时，一个 SVS 低电平条件。

当 POR 产生时，总是会产生 PUC，但是 PUC 不会生成一个 POR。以下事件触发 PUC：

- POR 信号
- 只在安全装置模式中时的安全装置定时器过期
- 安全定时器安全密钥违反
- 一个闪存存储器安全密钥违反
- 从 0h 到 01FFh 外设地址范围内的一个 CPU 取指令

2.1.1 欠压复位 (BOR)

欠压复位电路检测低电源电压，例如向 V_{CC} 端子施加电源电压或从中移除电源电压。欠压复位电路通过在通电或断电时触发 POR 信号来复位器件。图 2-2 展示了工作电平。

当 V_{CC} 超过 $V_{CC(\text{start})}$ 电平时 POR 信号变为有效状态。在 V_{CC} 超过 $V_{(B_IT+)}$ 阈值并且经过延迟 $t_{(BOR)}$ 之前，该信号一直保持有效状态。对于缓慢上升的 V_{CC} ，延迟 $t_{(BOR)}$ 会自适应地变得更长。迟滞 $V_{\text{hys}(B_IT-)}$ 确保电源电压必须降至 $V_{(B_IT-)}$ 以下才能通过欠压复位电路生成另一个 POR 信号。

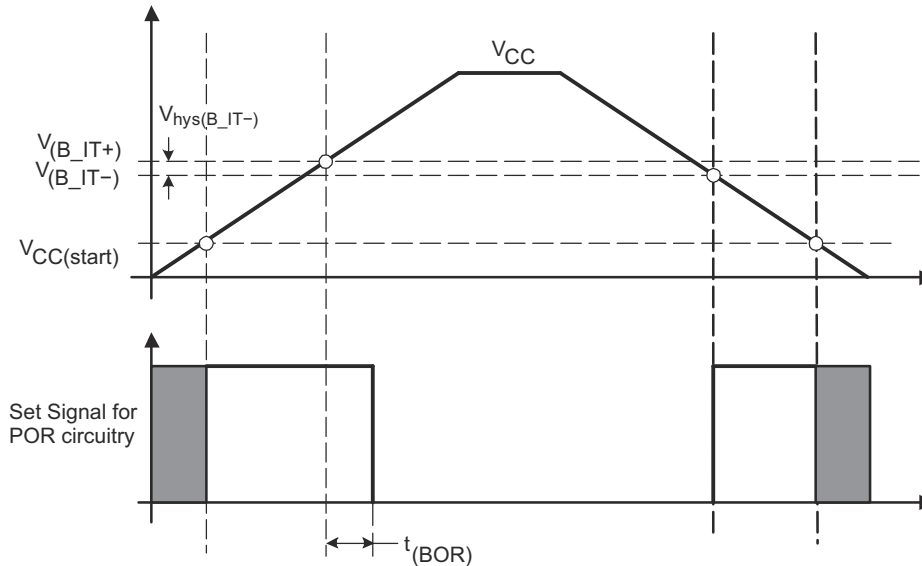


图 2-2. 欠压时序

$V_{(B_IT-)}$ 电平明显高于 POR 电路的 V_{min} 电平，因此 BOR 为 V_{CC} 不降至低于 V_{min} 的电源故障提供复位。请参阅《特定器件的数据手册的参数》。

2.1.2 系统复位后的器件初始条件

一个 POR 之后，初始 MSP430 条件为：

- \overline{RST}/NMI 引脚在复位模式中被配置。
- I/O 引脚被切换至数字 I/O 一章所描述的输入模式。
- 其他外设模块和寄存器被如本手册中它们各自章节所描述的那样被初始化。
- 状态寄存器 (SR) 被复位。
- 在看门狗模式中，看门狗定时器加电有效。
- 程序计数器 (PC) 加载复位向量位置 (0FFFFh) 上的地址。如果复位向量内容为 0FFFFh，则器件将被禁用以实现最低功耗。

2.1.2.1 软件初始化

系统复位后，用户软件必须根据应用要求初始化 MSP430。必须进行以下操作：

- 初始化 SP，通常至 RAM 的顶部
- 将安全装置初始化为应用要求的那样。
- 将外设模块配置为应用要求的那样。

此外，可以评估看门狗计时器、振荡器故障和闪存标志，以确定复位源。

2.2 中断

中断优先级是固定的并且由图 2-3 中显示的连接链中的模块安排来定义。距离 CPU/NMIRS 越近的模块，其优先级越高。中断优先级确定当多于一个中断在同时等待时，采用哪一个中断。

中断有三个类型：

- 系统复位
- (不)可屏蔽 NMI
- 可屏蔽

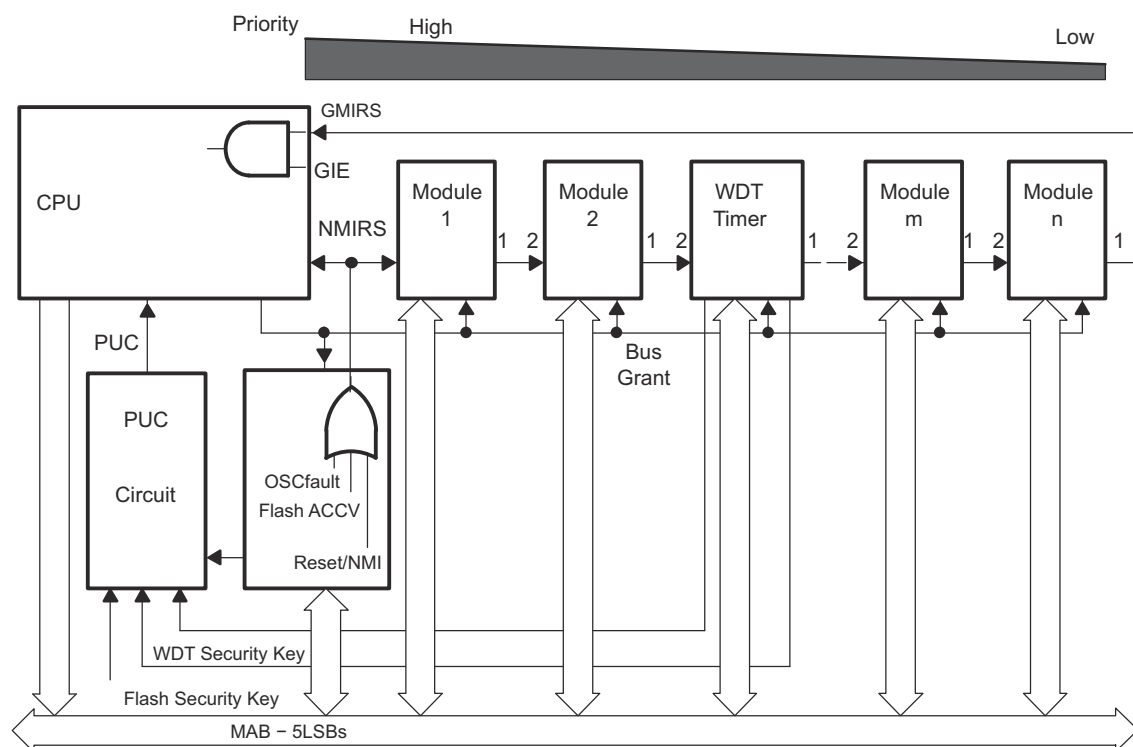


图 2-3. 中断优先级

2.2.1 (不)可屏蔽中断 (NMI)

(不)可屏蔽 NMI 中断不会被通用中断使能位 (GIE) 屏蔽，而是由单独的中断使能位 (NMIIIE、ACCVIE、OFIE) 启用。当一个 NMI 中断被接受时，所有 NMI 中断使能位都自动复位。程序从存储在 (不)可屏蔽中断向量 0FFFCh 中的地址开始执行。用户软件必须设置所需的 NMI 中断使能位才能重新启用中断。针对 NMI 源的方框图显示在图 2-4 中。

可由三个源来生成一个 (不)可屏蔽 NMI 中断：

- 配置在 NMI 模式时的， $\overline{\text{RST/NMI}}$ 上的边沿
- 振荡器发生故障
- 一个到闪存存储器的方位违反

2.2.1.1 复位 / NMI 引脚

加电时， $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚在复位模式中被配置。可以在看门狗控制寄存器 WDTCTL 中选择 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚的功能。如果 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚设置为复位功能，那么只要 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚保持低电平，CPU 就会保持在复位状态。输入变为高电平之后，CPU 在复位向量中存储的字地址 0FFFEh 处开始执行程序，并且会设置 RSTIFG 标志。

如果用户软件将 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚配置为 NMI 功能，那么在设置 NMIIE 位时 WDTNMIES 位选择的信号沿会生成 NMI 中断。 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 标志 NMIIFG 也被置位。

备注

使 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 保持低电平

当配置为 NMI 模式时，生成 NMI 事件的信号不应使 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚保持低电平。如果在 NMI 信号为低电平时从不同的源发生 PUC，则器件将保持在复位状态，因为 PUC 会将 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚更改为复位功能。

备注

修改 WDTNMIES

选择 NMI 模式并更改 WDTNMIES 位时，可能会生成 NMI，具体取决于 $\overline{\text{RST/NMI}}$ 引脚的实际电平。在选择 NMI 模式之前已更改 NMI 边沿选择位时，不会生成 NMI。

2.2.1.2 闪存访问违反

当一个闪存访问违反出现时，一个 ACCVIFG 标志被设定。通过设置 ACCVIE 位，可以启用闪存访问违例以产生 NMI 中断。然后通过 NMI 中断服务例程测试 ACCVIFG 标志，以确定 NMI 是否是由闪存访问违例引起的。

2.2.1.3 振荡器故障

振荡器故障信号警告晶体振荡器可能出现的错误情况。通过设置 OFIE 位，可以启用振荡器故障以产生 NMI 中断。然后通过 NMI 中断服务例程测试 OFIFG 标志，以确定 NMI 是否由振荡器故障引起。

PUC 信号可以触发振荡器故障，因为 PUC 将 LFXT1 切换到 LF 模式，从而关闭 HF 模式。PUC 信号也会关闭 XT2 振荡器。

2.2.1.4 NMI 中断处理程序示例

NMI 中断是一个多源中断。NMI 中断会自动复位 NMIIE、OFIE 和 ACCVIE 中断使能位。用户 NMI 服务例程根据应用程序需要复位中断标志并重新启用中断使能位，如图 2-5 所示。

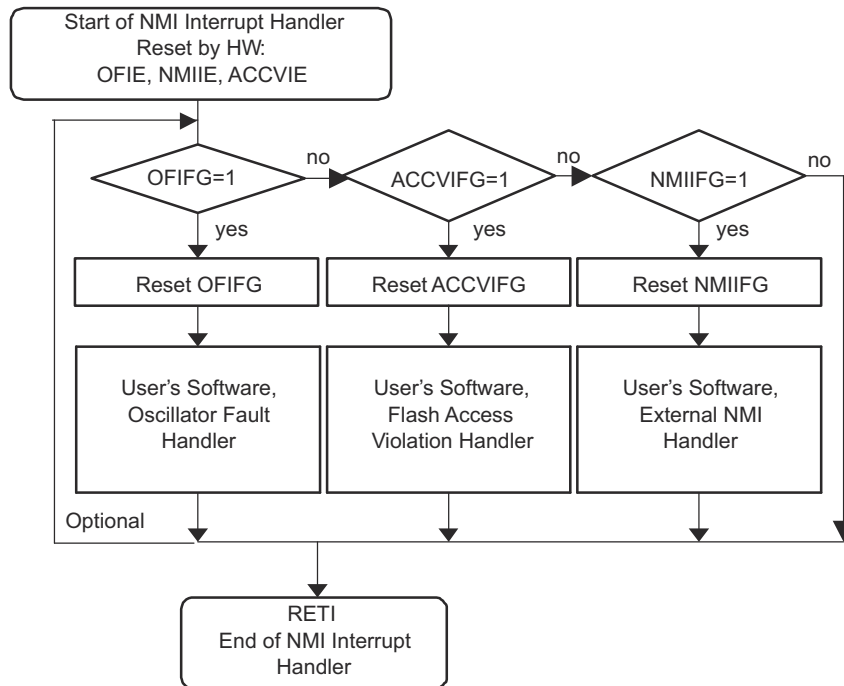


图 2-5. NMI 中断处理器

备注

使用 ACCVIE、NMIIE 和 OFIE 启用 NMI 中断

为防止出现嵌套 NMI 中断，不应在 NMI 中断服务例程内设置 ACCVIE、NMIIE 和 OFIE 使能位。

2.2.2 可屏蔽中断

可屏蔽中断是由具有中断功能（包括间隔计时器模式下的看门狗计时器溢出）的外设引起的。每个可屏蔽中断源可被一个中断使能位单独禁用，或者所有可屏蔽中断可由状态寄存器 (SR) 内的通用中断使能 (GIE) 位禁用。

每个单独的外设中断在本手册的相关外设模块章节中进行讨论。

2.2.3 中断处理

当外设请求一个中断并且外设中断使能位和 **GIE** 位被置 1 时，中断出了力例程被请求。对于要请求的 (不) 可屏蔽中断，只需设置单独的启用位。

2.2.3.1 中断接受

中断延迟为 5 个周期 (**CPUx**) 或 6 个周期 (**CPU**)，从接受中断请求开始，一直持续到开始执行中断服务例程的第一条指令，如图 2-6 所示。中断逻辑执行以下操作：

1. 任何当前执行的指令完成。
2. 指向下一条指令的 **PC** 被压入堆栈。
3. **SR** 被压入堆栈。
4. 如果在最后一个指令执行期间由多个中断出现，那么具有最高优先级的中断被选中并等待被处理。
5. 在单一源标志上，中断请求标志自动复位。对于软件处理，多个源标志保持被设定。
6. **SR** 被清除。这将终止任何低功耗模式。由于 **GIE** 位被清除，之后的中断被禁用。
7. 中断向量的内容被加载到 **PC** 中：程序继续执行该地址处的中断服务例程。

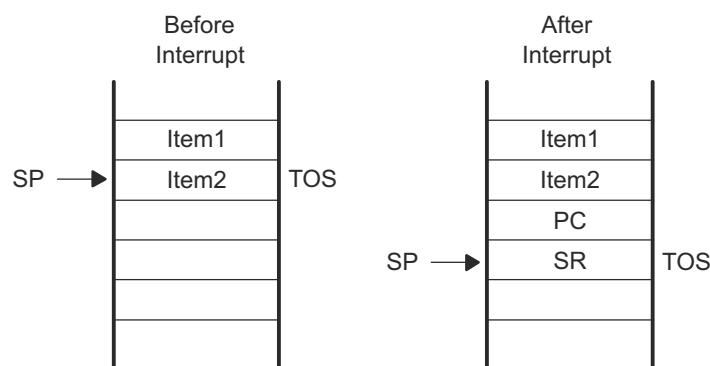


图 2-6. 中断处理

2.2.3.2 从中断返回

中断处理例程由以下指令终止：

RETI (从中断处理例程返回)

从中断返回需要 5 个周期 (CPU) 或 3 个周期 (CPUx) 来执行以下操作，图 2-7 对此进行了说明。

1. 包含之前所有设置的 SR 出栈。无论中断服务例程期间使用的设置如何，先前所有的 GIE、CPUOFF 等设置现在都有效。
2. PC 从堆栈弹出并且开始在其被中断的位置开始执行。

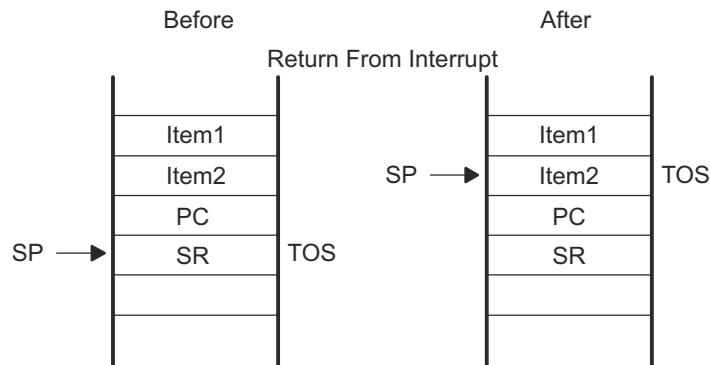


图 2-7. 从中断返回

2.2.3.3 中断嵌套

如果 GIE 位在中断处理例程中内置 1，则中断嵌套被启用。启用中断嵌套后，在某个中断服务例程期间发生的任何中断都会中断该例程，无论该中断的优先级如何都是如此。

2.2.4 中断向量

中断向量和上电起始地址位于地址范围 0FFFFh 至 0FFC0h 内，如表 2-1 所述。用户使用相应中断服务例程的 16 位地址对向量进行编程。有关完整中断向量列表的信息请参阅具体器件的数据表。

建议为分配给模块的每个中断向量提供一个中断服务例程。一个虚拟中断服务例程可只包含 RETI 指令，多个中断向量可以指向该指令。

如果需要，未分配的中断矢量可被用于常规程序代码。

某些模块使能位、中断使能位和中断标志位于 SFR 中。SFR 位于较低的地址范围并且用字节格式执行。必须使用字节指令访问 SFR。SFR 配置请参阅具体器件的数据表。

表 2-1. 中断源、标志、和向量

中断源	中断标志	系统中断	字地址	优先级
上电、外部复位、看门狗、闪存密码、非法指令提取	PORIFG RSTIFG WDTIFG KEYV	复位	0FFFEh	31, 最高
NMI, 振荡器故障, 闪存存储器访问违法	NMIIFG OFIFG ACCVIFG	(不)可屏蔽 (不)可屏蔽 (不)可屏蔽	0FFFCh	30
器件专用			0FFFAh	29
器件专用			0FFF8h	28
器件专用			0FFF6h	27
安全装置定时器	WDTIFG	可屏蔽	0FFF4h	26
器件专用			0FFF2h	25
器件专用			0FFF0h	24
器件专用			0FFEEh	23
器件专用			0FFECh	22
器件专用			0FFEAh	21
器件专用			0FFE8h	20
器件专用			0FFE6h	19
器件专用			0FFE4h	18
器件专用			0FFE2h	17
器件专用			0FFE0h	16
设备专用			0FFDEh	15
器件专用			0FFDCh	14
器件专用			0FFDAh	13
器件专用			0FFD8h	12
器件专用			0FFD6h	11
器件专用			0FFD4h	10
器件专用			0FFD2h	9
器件专用			0FFD0h	8
器件专用			0FFCEh	7
器件专用			0FFCCh	6
器件专用			0FFCAh	5
器件专用			0FFC8h	4
器件专用			0FFC6h	3
器件专用			0FFC4h	2
器件专用			0FFC2h	1

表 2-1. 中断源、标志、和向量 (continued)

中断源	中断标志	系统中断	字地址	优先级
器件专用			0FFC0h	0, 最低

2.3 操作模式

MSP430 系列设计用于超低功耗应用并且使用不同的运行模式，这些模式显示在图 2-9 中。

运行模式考虑了三个不同的模式：

- 超低功耗
- 速度和数据吞吐量
- 独立外设流耗最小化

图 2-8 显示了 MSP430 典型流耗。

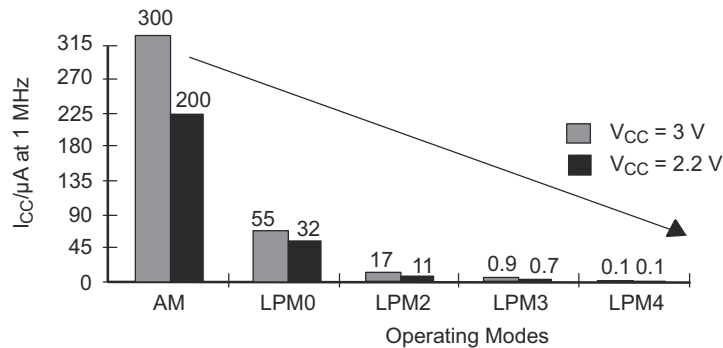


图 2-8. 'F21x1 器件的典型流耗与运行模式间的关系

低功耗模式 0 至 4 通过状态寄存器中的 CPUOFF、OSCOFF、SCG0 和 SCG1 位进行配置。在状态寄存器中包含 CPUOFF、OSCOFF、SCG0 和 SCG1 模式控制位的优点是可以在执行中断服务例程期间将当前工作模式保存到堆栈中。如果中断处理例程期间保存的 SR 值未改变，程序流返回到之前的运行模式。通过操作堆栈内的保存的 SR 值而不是中断处理例程，程序流可返回至一个不同的运行模式。可使用任何指令来访问模式控制位和堆栈。

在设置任何模式控制位时，选定的工作模式立即生效（请参阅图 2-9）。在时钟被激活前，带有被禁用时钟的外设运行被禁用。外设也可以通过其各自的控制寄存器设置来禁用。所有 I/O 端口引脚和 RAM / 寄存器未改变。可以通过所有启用的中断进行唤醒。

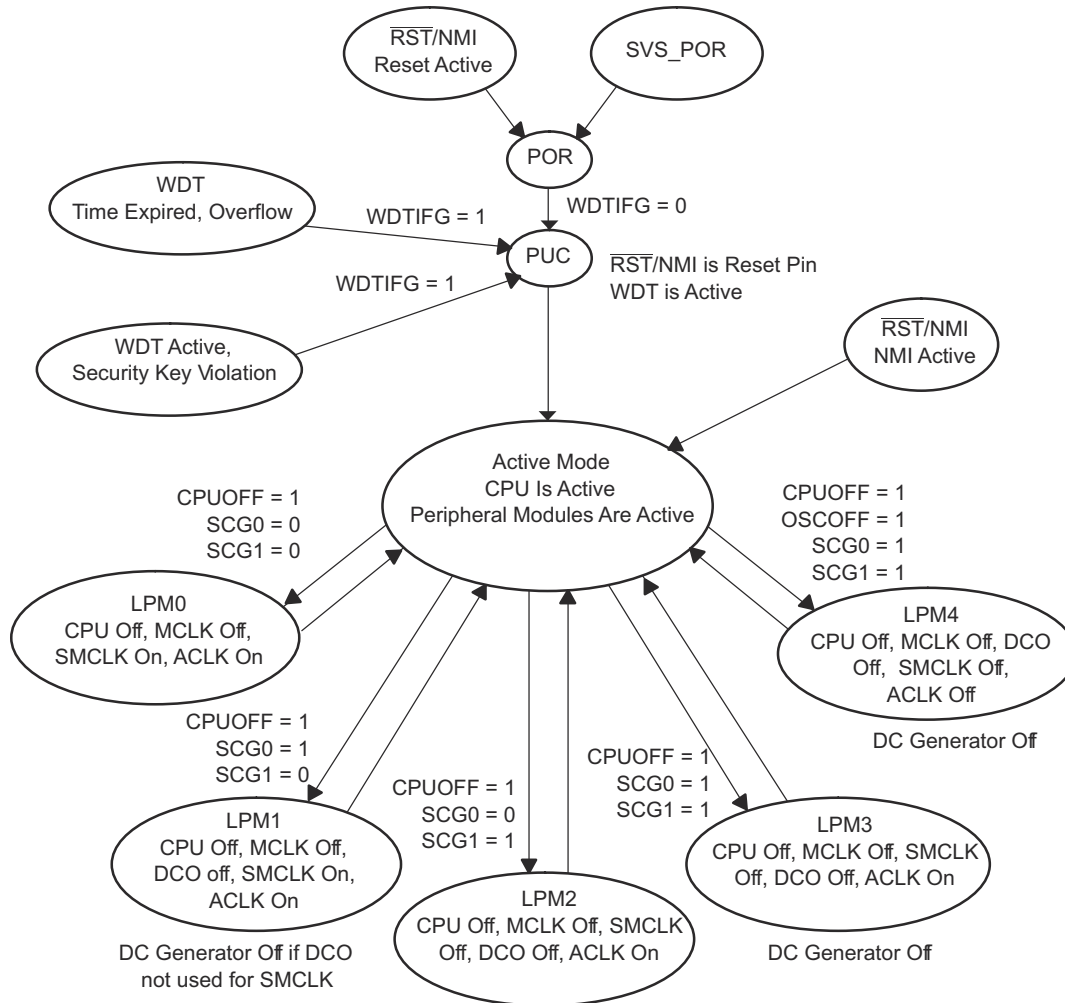


图 2-9. 针对基本时钟系统的运行模式

表 2-2. 针对基本时钟系统的运行模式

SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF	模式	CPU 和时钟状态
0	0	0	0	激活	CPU 被激活，所有被启用的时钟被激活
0	0	0	1	LPM0	CPU，MCLK 被禁用，SMCLK，ACLK 被激活
0	1	0	1	LPM1	CPU，MCLK 被禁用。如果 DCO 未用于 SMCLK，则禁用 DCO 和直流发生器。ACLK 被激活。
1	0	0	1	LPM2	CPU，MCLK，SMCLK，DCO 被禁用。DC 生成器保持启用。ACLK 被激活。
1	1	0	1	LPM3	CPU，MCLK，SMCLK，DCO 被禁用。DC 生成器被禁用。ACLK 被激活。
1	1	1	1	LPM4	CPU 和所有时钟被禁用。

2.3.1 进入和退出低功耗模式

一个被启用的中断事件将 MSP430 从任一低功耗模式中唤醒。程序流为：

- 进入中断服务例程：
 - PC 和 SR 被存储在堆栈上
 - CPUOFF, SCG1 和 OSCOFF 位被自动复位
- 从中断服务例程返回的选项包括：
 - 原先的 SR 从堆栈中弹出，从而恢复之前的运行模式。
 - 存储在堆栈中的 SR 位可在中断处理例程内被修改，当 RETI 指令被执行时，返回之前的运行模式。

```

; Enter LPM0 Example
BIS    #GIE+CPUOFF,SR      ; Enter LPM0
; ...                      ; Program stops here
;
; Exit LPM0 Interrupt Service Routine
BIC    #CPUOFF,0(SP)      ; Exit LPM0 on RETI
RETI
; Enter LPM3 Example
BIS    #GIE+CPUOFF+SCG1+SCG0,SR ; Enter LPM3
; ...                      ; Program stops here
;
; Exit LPM3 Interrupt Service Routine
BIC    #CPUOFF+SCG1+SCG0,0(SP) ; Exit LPM3 on RETI
RETI

```

2.4 低功耗应用原理

通常，降低功耗的最重要因素是使用 MSP430 时钟系统来最大限度地增大 LPM3 中的时间。在具有实时时钟功能且所有中断均处于活动状态的情况下，LPM3 功耗低于 2 μ A (典型值)。一个 32kHz 的时钟晶体用于 ACLK，CPU 由具有 1 μ s 唤醒时间的 DCO (通常关闭) 提供时钟信号。

- 使用中断来唤醒处理器并控制程序流。
- 应该只在需要时打开外设。
- 使用低功耗集成外设模块来取代软件启动的功能。例如 Timer_A 和 Timer_B 可以自动生成 PWM 并捕捉外部时序，无需 CPU 资源。
- 计算出的转移和快速表查询应该用来取代标志轮询和长软件计算。
- 由于开销，应避免频繁的子例程和函数调用。
- 对于较长的软件例程，应使用单周期 CPU 寄存器。

2.5 未使用引脚的连接

表 2-3 中列出了所有未使用引脚的正确连接。

表 2-3. 未使用引脚的连接

引脚	电势	注释
AV _{CC}	DVCC	
AV _{SS}	DVSS	
V _{REF+}	断开	
V _{eREF+}	DVSS	
V _{REF-} /V _{eREF-}	DVSS	
XIN	DVCC	只适用于专用 XIN 引脚。应将具有共享 GPIO 功能的 XIN 引脚编程为 GPIO 并遵循 Px.0 至 Px.7 建议。
XOUT	断开	只适用于 XOUT 引脚。应将具有共享 GPIO 功能的 XOUT 引脚编程为 GPIO 并遵循 Px.0 至 Px.7 建议。
XT2IN	DVSS	只适用于 X2IN 引脚。应将具有共享 GPIO 功能的 X2IN 引脚编程为 GPIO 并遵循 Px.0 至 Px.7 建议。
XT2OUT	断开	只适用于 X2OUT 引脚。应将具有共享 GPIO 功能的 X2OUT 引脚编程为 GPIO 并遵循 Px.0 至 Px.7 建议。
Px.0 至 Px.7	断开	切换至端口功能、输出方向或启用上拉/下拉的输入
RST/NMI	DVCC 或 VCC	带有 10nF (2.2nF ⁽¹⁾) 下拉电容的 47kΩ 上拉电阻器
测试	断开	20xx, 21xx, 22xx 器件
TDO	断开	
TDI	断开	
TMS	断开	
TCK	断开	

- (1) 在 Spy-Bi-Wire 模式或 4 线 JTAG 模式下将具有 Spy-Bi-Wire 接口的器件与 FET 接口或 GANG 编程器等 TI 工具搭配使用时，下拉电容器的电容不得超过 2.2nF。



本章对 MSP430 CPU，寻址模式，和指令集进行了说明。

3.1 CPU 介绍	46
3.2 CPU 寄存器	47
3.3 寻址模式	51
3.4 指令集	59

3.1 CPU 介绍

CPU 包含专门为现代编程技术 (例如计算分支、表处理和 C 等高级语言的使用) 设计的功能。CPU 无需分页即可对整个地址范围进行寻址。

CPU 特性包括：

- 具有 27 条指令和 7 个寻址模式的 RISC
- 正交架构，每条指令都可用于每种寻址模式。
- 完整的寄存器访问，包括程序计数器、状态寄存器和堆栈指针。
- 单周期寄存器运行。
- 大尺寸 16 位寄存器文件减少了到存储器的取指令。
- 16 位地址总线允许在整个存储器范围内进行直接访问和分支。
- 16 位数据总线可实现对字宽自变量的操作。
- 常数生成器可提供六个最常用的立即数，从而减小代码量。
- 无需中间寄存器保持的直接存储器到存储器传输。
- 字和字节寻址和指令格式。

图 3-1 中显示了 CPU 的方框图。

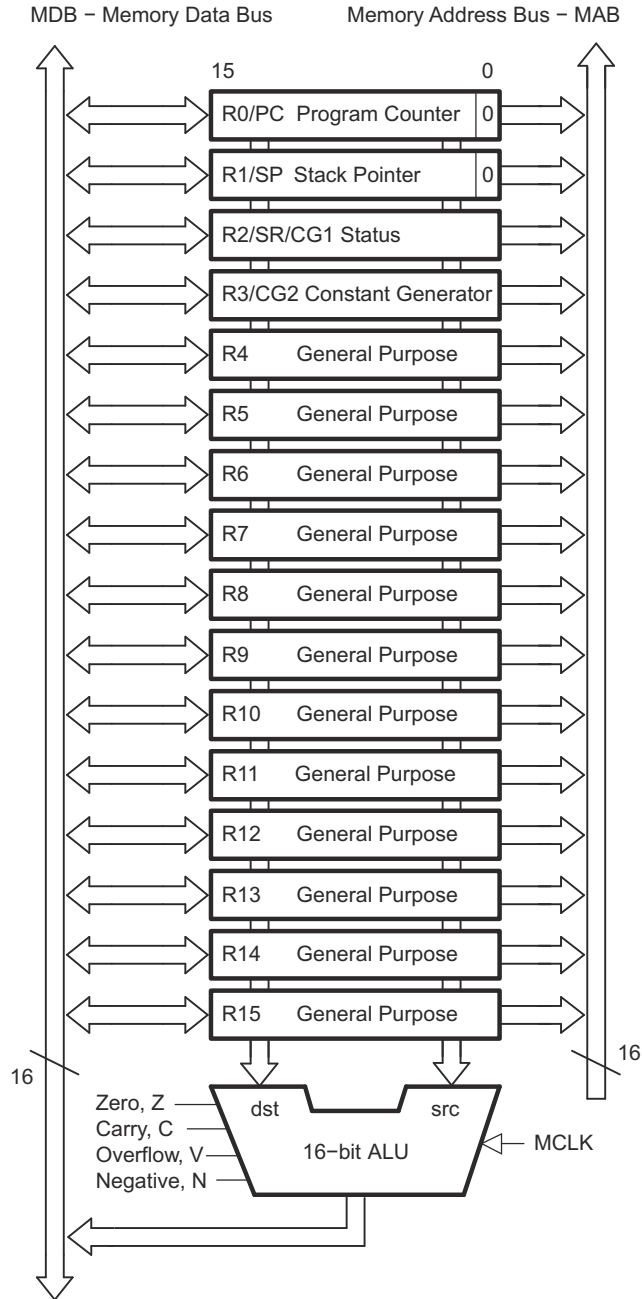


图 3-1. CPU 结构图

3.2 CPU 寄存器

CPU 包含十六个 16 位寄存器。R0、R1、R2 和 R3 具有专用功能。R4 到 R15 是针对普通用途的工作寄存器。

3.2.1 程序计数器 (PC)

16 位程序计数器 (PC/R0) 指向将被执行的下一条指令。每条指令使用偶数个字节 (两个、四个或六个)，PC 相应地递增。64KB 地址空间中的指令访问在字边界上执行，PC 与偶数地址对齐。图 3-2 显示了程序计数器。

图 3-2. 程序计数器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
程序计数器位 15 至 1															0

可用所有指令和寻址模式对 PC 寻址。几个示例：

```
MOV #LABEL,PC ; Branch to address LABEL
MOV LABEL,PC ; Branch to address contained in LABEL
MOV @R14,PC ; Branch indirect to address in R14
```

3.2.2 堆栈指针 (SP)

CPU 使用堆栈指针 (SP/R1) 来存储子例程调用和中断的返回地址。它使用一个先递减、后递增的机制。此外，SP 可被具有所有指令和寻址模式的软件所使用。图 3-3 显示了 SP。SP 由用户初始化到 RAM 中，并与偶数地址对齐。

图 3-4 展示了堆栈使用情况。

图 3-3. 堆栈计数器

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
堆栈计数器位 15 至 1															0

```
MOV 2(SP),R6 ; Item I2 -> R6
MOV R7,0(SP) ; Overwrite TOS with R7
PUSH #0123h ; Put 0123h onto TOS
POP R8 ; R8 = 0123h
```

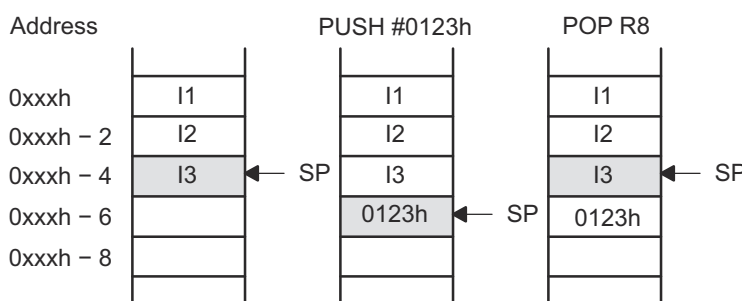


图 3-4. 堆栈用法

图 3-5 中描述了将 SP 用作一个到 PUSH 和 POP 指令的自变量的特殊情况。



The stack pointer is changed after a PUSH SP instruction.

The stack pointer is not changed after a POP SP instruction. The POP SP instruction places SP₁ into the stack pointer SP (SP₂=SP₁)

图 3-5. PUSH SP - POP SP 序列

3.2.3 状态寄存器 (SR)

状态寄存器 (SR/R2) 用作源寄存器或目标寄存器，可用于仅通过字指令寻址的寄存器模式。其余的寻址模式组合用于支持常数发生器。图 3-6 显示了 SR 位。

图 3-6. 状态寄存器位

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

图 3-6. 状态寄存器位 (continued)

保留	V	SCG1	SCG0	OSC OFF	CPU OFF	GIE	N	Z	C
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 3-1 描述了状态寄存器位。

表 3-1. 状态寄存器位说明

位	说明	
V	溢出位。当一个算术运算从信号变量范围内溢出时，这个位被置 1。	
	ADD(.B)、ADDC(.B)	
	在以下情况下设置：	
	正 + 正 = 负 负 + 负 = 正 否则复位	
SUB(.B)、SUBC(.B)、CMP(.B)	在以下情况下设置：	
	正 - 负 = 负 负 - 正 = 正 否则复位	
	SCG1	系统时钟发生器 1。当置位时，关闭 SMCLK。
	SCG0	系统时钟发生器 0。设置后，如果 DCOCLK 不用于 MCLK 或 SMCLK，则会关闭 DCO 直流发生器。
OSCOFF	振荡器关闭。设置后，当 LFXT1CLK 不用于 MCLK 或 SMCLK 时，则会关闭 LFXT1 晶体振荡器。	
CPUOFF	CPU 关闭。当置位时，关闭 CPU。	
GIE	通用中断使能。当置位时，启用可屏蔽中断。复位时，所有可屏蔽中断被禁用。	
N	负位。当字节或字操作的结果为负时置位，结果不为负时清除。	
	字操作：N 设置为结果的位 15 的值。	
	字节操作：N 设置为结果的位 7 的值。	
Z	零位。当字节或字操作的结果为 0 时置位，结果不为 0 时清除。	
C	进位位。当字节或字操作的结果产生进位时置位，未发生进位时清除。	

3.2.4 常数发生器寄存器 CG1 和 CG2

使用常数发生器寄存器 R2 和 R3 可生成六个常用常数，无需额外的 16 位程序代码字。可以使用源寄存器寻址模式（“作为”）来选择常数，如表 3-2 所述。

表 3-2. 常数发生器 CG1, CG2 的值

寄存器	作为	常量	备注
R2	00	-----	寄存器模式
R2	01	(0)	绝对地址模式
R2	10	00004h	+4, 位处理
R2	11	00008h	+8, 位处理
R3	00	00000h	0, 字处理
R3	01	00001h	+1
R3	10	00002h	+2, 位处理
R3	11	0FFFFh	-1, 字处理

常数发生器的优势在于：

- 无需特殊指令
- 无需用于六个常数的额外代码字

- 检索常数无需代码存储器访问

如果六个常数中的一个被用作一个中间源操作数，汇编程序自动使用常数发生器。用在常数模式的寄存器 R2 和 R3，不能被明确寻址；它们只作为源寄存器运行。

3.2.4.1 常数发生器 - 扩展指令集

MSP430 的 RISC 指令集只有 27 条指令。不过，利用常数发生器，MSP430 汇编器可以支持 24 条额外的仿真指令。例如，单操作数指令

```
CLR dst
```

由双操作数指令使用同样长度的：

```
MOV R3, dst
```

其中 #0 被汇编程序取代，而 R3 在 As=00 时使用。

```
INC dst
```

被：

```
ADD 0(R3), dst 取代
```

3.2.5 通用寄存器 R4 至 R15

12 个寄存器，R4-R15，为通用寄存器。所有这些寄存器都可以用作数据寄存器、地址指针或索引值，可以通过字节或字指令进行访问，如图 3-7 所示。

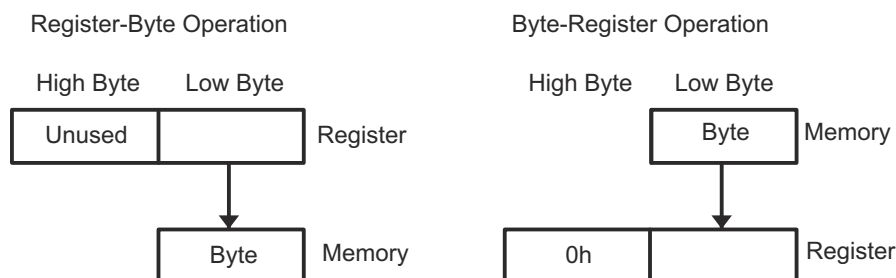


图 3-7. 寄存器字节/字节寄存器运行

示例寄存器字节运行		示例字节寄存器运行	
R5=0A28Fh		R5 = 01202h	
R6=0203h		R6 = 0223h	
Mem(0203h)=012h		Mem(0223h)=05Fh	
ADD.B	R5, 0(R6)	ADD.B	@R6, R5
	08Fh		05Fh
	+012h		+002h
	<hr/> 0A1h		<hr/> 00061h
Mem(0203h)=0A1h		R5 = 00061h	
C=0, Z=0, N=1		C=0, Z=0, N=0	
(寄存器的低字节)		(已编址字节)	
+ (已编址字节)		+ (寄存器的低字节)	
<hr/> -> (已编址字节)		<hr/> -> (寄存器的低字节, 零至高字节)	

3.3 寻址模式

源操作数的七种寻址模式和目标操作数的四种寻址模式可以毫无例外地对整个地址空间进行寻址。表 3-3 中的位编号说明了 As (源) 和 Ad (目标) 模式位的内容。

表 3-3. 源和目标操作数寻址模式

As/Ad	寻址模式	句法	说明
00/0	寄存器模式	Rn	寄存器内容为操作数
01/1	已索引模式	X(Rn)	(Rn + X) 指向操作数。X 被存储在下一个字中。
01/1	符号模式	ADDR	(PC + X) 指向操作数。X 被存储在下一个字中。使用已索引模式 X(PC)。
01/1	绝对模式	&ADDR	指令之后的字包含绝对地址。X 被存储在下一个字中。加索引的 X(SR) 被使用。
10/-	间接寄存器模式	@Rn	Rn 被用作一个指向操作数的指针。
11/-	间接自动增量	@Rn+	Rn 被用作一个指向操作数的指针。对于 .B 指令，Rn 之后递增 1；对于 .W 指令，递增 2。
11/-	立即模式	#N	指令后面的字包含立即常数 N。使用间接自动增量模式 @PC+。

在下面的小节中详细解释了七个寻址模式。大多数的示例显示了针对源和地址的同样的寻址模式，但是在一个指令中源和目的寻址模式的任何有效组合都是可能的。

备注

使用标签 *EDE*、*TONI*、*TOM* 和 *LEO*

在整个 MSP430 文档中，EDE，TONI，TOM 和 LEO 被用作普通标签。它们只是标签。它们没有特别的含义。

3.3.1 寄存器模式

在表 3-4 中描述了寄存器模式。

表 3-4. 寄存器模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV R10,R11	MOV R10,R11

长度：一个或两个字
 运行：将 R10 的内容移至 R11。R10 不受影响。
 注释：对于源和地址有效
 示例：MOV R10,R11

	Before:		After:
R10	0A023h	R10	0A023h
R11	0FA15h	R11	0A023h
PC	PC _{old}	PC	PC _{old} + 2

备注

寄存器中的数据

寄存器中的数据可使用字或字节指令访问。如果使用字节指令，则结果中的高字节始终为 0。会根据字节指令的结果来处理状态位。

3.3.2 已索引模式

在表 3-5 中描述了已索引模式。

表 3-5. 已索引模式说明

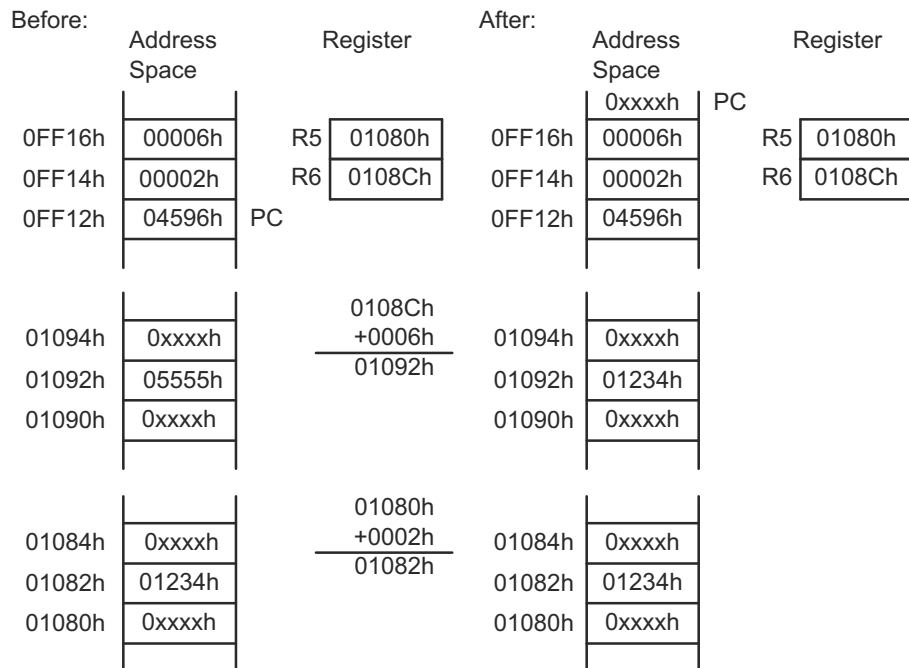
汇编程序代码	ROM 内容
MOV 2(R5), 6(R6)	MOV X(R5), Y(R6)
	X=2
	Y=6

长度：两个或者三个字

运行：将源地址 (R5 的内容 + 2) 的内容移动到目标地址 (R6 的内容 + 6)。源和目标寄存器 (R5 和 R6) 不受影响。在已索引模式下，程序计数器会自动递增，以便程序继续执行下一条指令。

注释：对于源和地址有效

示例：MOV 2(R5), 6(R6);



3.3.3 符号模式

在表 3-6 中描述了符号模式。

表 3-6. 符号模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV EDE, TONI	MOV X(PC), Y(PC) X = EDE - PC Y = TONI - PC

长度：两个或者三个字

运行：将源地址 EDE (PC + X 的内容) 的内容移动到目标地址 TONI (PC + Y 的内容)。指令后面的字包含 PC 与源或目标地址之间的差值。汇编计算机并且自动插入偏移 X 和 Y。在符号模式下，程序计数器 (PC) 会自动递增，以便程序继续执行下一条指令。

注释：对于源和地址有效

示例：

```
MOV EDE,TONI ;Source address EDE = 0F016h
              ;Dest. address TONI = 01114h
```

Before:		Register	After:	
Address Space			Address Space	Register
0FF16h	011FEh		0FF16h	011FEh
0FF14h	0F102h		0FF14h	0F102h
0FF12h	04090h	PC	0FF12h	04090h
0F018h	0xxxxh	0FF14h +0F102h ----- 0F016h	0F018h	0xxxxh
0F016h	0A123h		0F016h	0A123h
0F014h	0xxxxh		0F014h	0xxxxh
01116h	0xxxxh	0FF16h +011FEh ----- 01114h	01116h	0xxxxh
01114h	05555h		01114h	0A123h
01112h	0xxxxh		01112h	0xxxxh

3.3.4 绝对模式

在表 3-7 中对绝对模式进行了说明。

表 3-7. 绝对模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV &EDE, &TONI	MOV X(0), Y(0) X = EDE Y = TONI

长度：两个或者三个字

运行：将源地址 **EDE** 的内容移动到目标地址 **TONI**。指令后面的字包含源地址和目标地址的绝对地址。在绝对模式下，**PC** 会自动递增，以便程序继续执行下一条指令。

注释：对于源和地址有效

示例：

```
MOV &EDE, &TONI ;Source address EDE = 0F016h
                ;Dest. address TONI = 01114h
```

Before:		Register	After:		Register
Address	Space		Address	Space	
0FF16h	01114h	PC	0FF16h	0xxxxh	PC
0FF14h	0F016h		0FF14h	01114h	
0FF12h	04292h		0FF12h	0F016h	
				04292h	
0F018h	0xxxxh		0F018h	0xxxxh	
0F016h	0A123h		0F016h	0A123h	
0F014h	0xxxxh		0F014h	0xxxxh	
01116h	0xxxxh		01116h	0xxxxh	
01114h	01234h		01114h	0A123h	
01112h	0xxxxh		01112h	0xxxxh	

该地址模式主要用于位于绝对、固定地址的硬件外设模块。这些是使用绝对模式进行寻址的，以确保软件的可移植性（例如与位置无关的代码）。

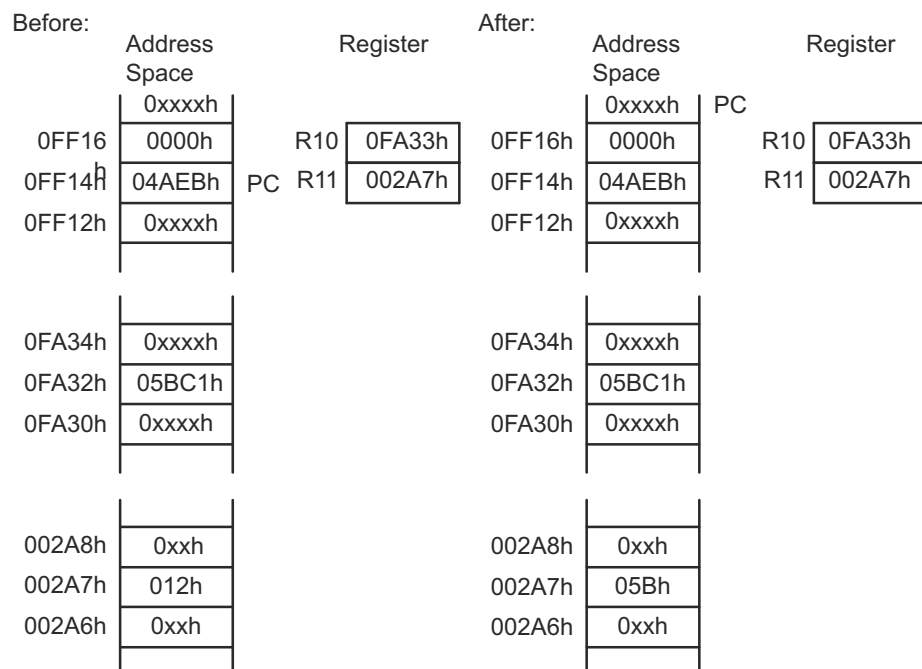
3.3.5 间接寄存器模式

在表 3-8 中说明了间接寄存器模式。

表 3-8. 间接模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV @R10,0 (R11)	MOV @R10,0 (R11)

长度：一个或两个字
 运行：将源地址 (R10 的内容) 的内容移动到目标地址 (R11 的内容)。不会修改寄存器。
 注释：仅对源操作数有效。用 0(Rd) 替代目的操作数。
 示例：MOV.B @R10,0(R11)



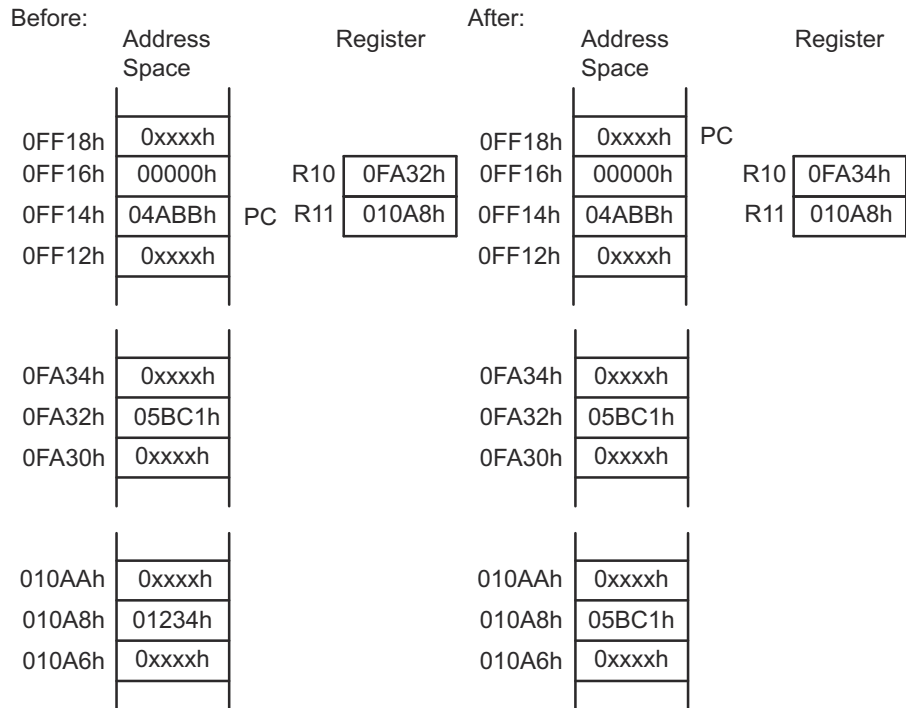
3.3.6 间接自动递增模式

在表 3-9 中描述了间接自动递增。

表 3-9. 间接自动递增模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV @R10+,0 (R11)	MOV @R10+,0 (R11)

长度：一个或两个字
 运行：将源地址 (R10 的内容) 的内容移动到目标地址 (R11 的内容)。寄存器 R10 针对字节操作递增 1，或者针对提取后的字操作递增 2；它指向下一个地址，没有任何开销。这对于表处理十分有用。
 注释：仅对源操作数有效。用 0(Rd) 加上第二指令 INCD Rd 替代目的操作数。
 示例：MOV @R10+,0 (R11)



在操作数被取出后，寄存器自动增量发生。图 3-8 展示了这种情况。

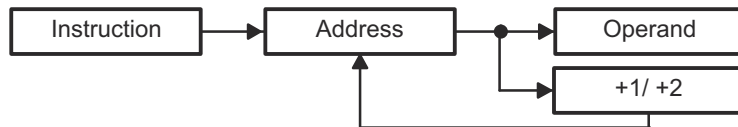


图 3-8. 操作数提取操作

3.3.7 立即模式

在表 3-10 中描述了立即模式。

表 3-10. 立即模式说明

汇编程序代码	ROM 内容
MOV #45h, TONI	MOV @PC+, X(PC) 45 X = TONI - PC

- 长度：两个或者三个字
如果可以使用 CG1 或 CG2 的常数，则少一个字。
- 运行：将包含在指令后面的字中的立即数 45h 移动到目标地址 TONI。在提取源时，程序计数器指向指令后面的字并将内容移动到目标。
- 注释：仅对源操作数有效。
- 示例：MOV #45h, TONI

Before:		Register	After:		
Address Space			Address Space	Register	
0FF16h	01192h		0FF18h	0xxxxh	PC
0FF14h	00045h		0FF16h	01192h	
0FF12h	040B0h		0FF14h	00045h	
			0FF12h	040B0h	
010AAh	0xxxxh	0FF16h	010AAh	0xxxxh	
010A8h	01234h	+01192h	010A8h	00045h	
010A6h	0xxxxh	010A8h	010A6h	0xxxxh	

3.4 指令集

完整的 MSP430 指令集包含 27 条核心指令和 24 条仿真指令。内核指令是具有唯一运行代码（由 CPU 解码）的指令。仿真指令是使代码更易于编写和阅读的指令，但其本身没有操作码，而是由汇编程序自动替换为等效的核心指令。使用仿真指令不会影响代码或性能。

共有三种核心指令格式：

- 双操作数
- 单操作数
- 跳转

通过使用 .B 或 .W 扩展名，所有单操作数指令和双操作数指令都可以是字节指令或字指令。字节指令可被用于访问字节数据或字节外设。字指令用于访问字数据或字外设。如果不使用扩展名，则指令是字指令。

一个指令的源和目的由以下字段定义：

src	源操作数由 As 和 S-reg 定义
dst	目的操作数由 Ad 和 D-seg 段定义
As	负责用于源 (src) 的寻址模式的寻址位
S-reg	针对源 (src) 的工作寄存器
Ad	负责用于目标 (dst) 的寻址模式的寻址位
D-reg	用于目标 (dst) 的工作寄存器
B/W	字节或字操作： 0：字操作 1：字节操作

备注

目的地址

在存储器映射的任一位置目的地址有效。不过，在使用修改目标内容的指令时，用户必须确保目标地址是可写的。例如，掩膜 ROM 位置是有效的目标地址，但内容不可修改，因此指令的结果会丢失。

3.4.1 双操作数 (格式 I) 指令

图 3-9 解释了双操作数指令格式。

图 3-9. 双操作数指令格式

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
操作代码				S-Reg				Ad	B/W	As		D-Reg			

表 3-11 列出并说明了双操作数指令。

表 3-11. 双操作数指令

助记符	S-Reg、 D-Reg	运行	状态位			
			V	N	Z	C
MOV (.B)	src, dst	src→dst	-	-	-	-
ADD (.B)	src, dst	src+dst→dst	*	*	*	*
ADDC (.B)	src, dst	src+dst+C→dst	*	*	*	*
SUB (.B)	src, dst	dst+.not.src+1→dst	*	*	*	*
SUBC (.B)	src, dst	dst+.not.src+C→dst	*	*	*	*
CMP (.B)	src, dst	dst-src	*	*	*	*
DADD (.B)	src, dst	src+dst+C→dst (用十进制)	*	*	*	*
BIT (.B)	src, dst	src.and.dst	0	*	*	*
BIC (.B)	src, dst	not.src.and.dst→dst	-	-	-	-
BIS (.B)	src, dst	src.or.dst→dst	-	-	-	-
XOR (.B)	src, dst	src.xor.dst→dst	*	*	*	*
AND (.B)	src, dst	src.and.dst→dst	0	*	*	*

- * 状态位受到影响
- 状态位不受影响
- 0 清除状态位
- 1 设置状态位

备注

指令 CMP 和 SUB

除结果存储之外，指令 CMP 和 SUB 是相同的。BIT 和 AND 指令也是如此。

3.4.2 单操作数 (格式 II) 指令

图 3-10 解释了单操作数指令格式。

图 3-10. 单操作数指令格式

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
操作代码										B/W	Ad	D/S-Reg			

表 3-12 列出并说明了单操作数指令。

表 3-12. 单操作数指令

助记符	S-Reg、 D-Reg	运行	状态位			
			V	N	Z	C
RRC (.B)	dst	C → MSB →LSB → C	*	*	*	*
RRA (.B)	dst	MSB → MSB →LSB → C	0	*	*	*
PUSH (.B)	src	SP - 2 → SP、src → @SP	-	-	-	-
SWPB	dst	交换字节	-	-	-	-
CALL	dst	SP - 2 → SP、PC+2 → @SP	-	-	-	-
		dst → PC				
RETI		TOS → SR, SP+2 → SP	*	*	*	*
		TOS → PC、SP + 2 → SP				
SXT	dst	位 7 → 位 8.....位 15	0	*	*	*

- * 状态位受到影响
- 状态位不受影响
- 0 清除状态位
- 1 设置状态位

CALL 指令可使用所有寻址模式。如果使用了符号模式 (ADDRESS)、立即模式 (#N)、绝对模式 (&EDE) 或索引模式 x(RN)，则后面的字包含地址信息。

3.4.3 跳转

图 3-11 显示了条件跳转指令格式。

图 3-11. 跳转指令格式

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
操作代码		C				10 为 PC 偏移									

表 3-13 列出并说明了跳转指令。

表 3-13. 跳转指令

助记符	S-Reg , D-Reg	运行
JEQ/JZ	标签	如果零位被置 1，则跳转至标签
JNE/JNZ	标签	如果零位被复位则跳转至标签
JC	标签	如果进位位被置 1，则跳转至标签
JNC	标签	如果进位位被复位则跳转至标签
JN	标签	如果负位被置 1，则跳转至标签
JGE	标签	如果 (N .XOR.V)=0，则跳转至标签
JL	标签	如果 (N .XOR.V)=1，则跳转至标签
JMP	标签	无条件跳转至标签

条件跳转支持相对于 PC 的程序分支并且不影响状态位。相对于跳转指令处的 PC 值，可能的跳转范围为 - 511 至 +512 个字。10 位程序计数器偏移被视为带符号的 10 位值，该值加倍并加到程序计数器：

$$PC_{\text{new}} = PC_{\text{old}} + 2 + PC_{\text{offset}} \times 2$$

3.4.4 指令周期和长度

一条指令所需的 CPU 时钟周期数取决于指令格式和使用的寻址模式，而不是指令本身。时钟周期数是指 MCLK。

3.4.4.1 中断和复位周期

表 3-14 列出了用于中断开销和复位的 CPU 周期。

表 3-14. 中断和复位周期

操作	周期数	指令的长度
从中断返回 (RETI)	5	1
接受中断	6	-
WDT 复位	4	-
复位 (RST/NMI)	4	-

3.4.4.2 格式 II (单操作数) 指令周期和长度

表 3-15 列出了格式 II 指令所有寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 3-15. 格式 II 指令周期和长度

寻址模式	周期数			指令的长度	示例
	RRA、RRC SWPB、SXT	PUSH	CALL		
Rn	1	3	4	1	SWPB R5
@Rn	3	4	4	1	RRC @R9
@Rn+	3	5	5	1	SWPB @R10+
#N	(请参阅注释)	4	5	2	CALL #0F000h
X(Rn)	4	5	5	2	CALL 2 (R7)
EDE	4	5	5	2	PUSH EDE
&EDE	4	5	5	2	SXT &EDE

备注

指令格式 II 立即模式

请勿将指令 RRA、RRC、SWPB 和 SXT 与目标字段中的立即模式一同使用。在立即模式下使用这些指令会导致不可预测的程序运行情况。

3.4.4.3 格式 III (跳转) 指令周期和长度

所有跳转指令都需要一个代码字，并且其执行需要两个 CPU 周期，无论是否跳转都是如此。

3.4.4.4 格式 I (双操作数) 指令周期和长度

表 3-16 列出了格式 I 指令的所有寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 3-16. 格式 1 指令周期和长度

寻址模式		周期数	指令的长度	示例	
Src	Dst				
Rn	Rm	1	1	MOV	R5, R8
	PC	2	1	BR	R9
	x(Rm)	4	2	ADD	R5, 4 (R6)
	EDE	4	2	XOR	R8, EDE
	&EDE	4	2	MOV	R5, &EDE
@Rn	Rm	2	1	和	@R4, R5
	PC	2	1	BR	@R8
	x(Rm)	5	2	XOR	@R5, 8 (R6)
	EDE	5	2	MOV	@R5, EDE
	&EDE	5	2	XOR	@R5, &EDE
@Rn+	Rm	2	1	ADD	@R5+, R6
	PC	3	1	BR	@R9+
	x(Rm)	5	2	XOR	@R5, 8 (R6)
	EDE	5	2	MOV	@R9+, EDE
	&EDE	5	2	MOV	@R9+, &EDE
#N	Rm	2	2	MOV	#20, R9
	PC	3	2	BR	#2AEh
	x(Rm)	5	3	MOV	#0300h, 0 (SP)
	EDE	5	3	ADD	#33, EDE
	&EDE	5	3	ADD	#33, &EDE
x(Rn)	Rm	3	2	MOV	2 (R5), R7
	PC	3	2	BR	2 (R6)
	TONI	6	3	MOV	4 (R7), TONI
	x(Rm)	6	3	ADD	4 (R4), 6 (R9)
	&TONI	6	3	MOV	2 (R4), &TONI
EDE	Rm	3	2	AND	EDE, R6
	PC	3	2	BR	EDE
	TONI	6	3	CMP	EDE, TONI
	x(Rm)	6	3	MOV	EDE, 0 (SP)
	&TONI	6	3	MOV	EDE, &TONI
&EDE	Rm	3	2	MOV	&EDE, R8
	PC	3	2	BRA	&EDE
	TONI	6	3	MOV	&EDE, TONI
	x(Rm)	6	3	MOV	&EDE, 0 (SP)
	&TONI	6	3	MOV	&EDE, &TONI

3.4.5 指令集说明

指令映射显示在图 3-12 中，而完整指令集汇总于表 3-17 中。

	000	040	080	0C0	100	140	180	1C0	200	240	280	2C0	300	340	380	3C0
0xxx																
4xxx																
8xxx																
Cxxx																
1xxx	RRC	RRC.B	SWPB		RRA	RRA.B	SXT		PUSH	PUSH.B	CALL		RETI			
14xx																
18xx																
1Cxx																
20xx	JNE/JNZ															
24xx	JEQ/JZ															
28xx	JNC															
2Cxx	JC															
30xx	JN															
34xx	JGE															
38xx	JL															
3Cxx	JMP															
4xxx	MOV, MOV.B															
5xxx	ADD, ADD.B															
6xxx	ADDC, ADDC.B															
7xxx	SUBC, SUBC.B															
8xxx	SUB, SUB.B															
9xxx	CMP, CMP.B															
Axxx	DADD, DADD.B															
Bxxx	BIT, BIT.B															
Cxxx	BIC, BIC.B															
Dxxx	BIS, BIS.B															
Exxx	XOR, XOR.B															
Fxxx	AND, AND.B															

图 3-12. 内核指令映射

表 3-17. MSP430 指令集

助记符	说明	V	N	Z	C		
ADC (.B) ⁽¹⁾	dst	将 C 加到目标上	dst+C→dst	*	*	*	*
ADD (.B)	src, dst	将源加至目的	src+dst→dst	*	*	*	*
ADDC (.B)	src, dst	将源和 C 加到目标上	src+dst+C→dst	*	*	*	*
AND (.B)	src, dst	对源和目标执行与运算	src .and. dst → dst	0	*	*	*
BIC (.B)	src, dst	清除目的中的位	not.src .and. dst → dst	-	-	-	-
BIS (.B)	src, dst	设定目的中的位	src .or. dst → dst	-	-	-	-
BIT (.B)	src, dst	测试目的中的位	src .and. dst	0	*	*	*
BR ⁽¹⁾	dst	跳转到目标	dst→PC	-	-	-	-
CALL	dst	调用目标	PC+2 → stack, dst → PC	-	-	-	-
CLR (.B) ⁽¹⁾	dst	清零目的操作数	0→dst	-	-	-	-
CLRC ⁽¹⁾		清零 C	0→C	-	-	-	0
CLR N ⁽¹⁾		清零 N	0→N	-	0	-	-
CLR Z ⁽¹⁾		清零 Z	0→Z	-	-	0	-
CMP (.B)	src, dst	比较源和目的	dst-src	*	*	*	*
DADC (.B) ⁽¹⁾	dst	将 C 以十进制格式加到目标上	dst+C→dst (用十进制)	*	*	*	*
DADD (.B)	src, dst	将源和 C 以十进制格式加到 dst 上	src+dst+C→dst (用十进制)	*	*	*	*
DEC (.B) ⁽¹⁾	dst	递减目的	dst - 1 → dst	*	*	*	*
DECD (.B) ⁽¹⁾	dst	双递减目的	dst - 2 → dst	*	*	*	*
DINT ⁽¹⁾		禁用中断	0→GIE	-	-	-	-

表 3-17. MSP430 指令集 (continued)

助记符		说明		V	N	Z	C
EINT ⁽¹⁾		启用中断	1→GIE	-	-	-	-
INC(.B) ⁽¹⁾	dst	递增目的	dst + 1 → dst	*	*	*	*
INCD(.B) ⁽¹⁾	dst	双递增目的	dst + 2 → dst	*	*	*	*
INV(.B) ⁽¹⁾	dst	反转目的	.not.dst→dst	*	*	*	*
JC/JHS	标签[label]	如果设置 C，则跳转/如果更高或相同，则跳转		-	-	-	-
JEQ/JZ	标签[label]	如果相等，则跳转/如果设置 Z，则跳转		-	-	-	-
JGE	标签[label]	如果大于或相等，则跳转。		-	-	-	-
JL	标签[label]	如果少于则跳转		-	-	-	-
JMP	标签[label]	跳转	PC + 2 × 偏移 → PC	-	-	-	-
JN	标签[label]	如果设置 N，则跳转		-	-	-	-
JNC/JLO	标签[label]	如果未设置 C，则跳转/如果更低，则跳转		-	-	-	-
JNE/JNZ	标签[label]	如果不相等，则跳转/如果未设置 Z，则跳转		-	-	-	-
MOV(.B)	src, dst	将源移动到目的	src→dst	-	-	-	-
NOF ⁽¹⁾		无操作		-	-	-	-
POP(.B) ⁽¹⁾	dst	将项目从堆栈弹出到目标	@SP → dst、SP+2 → SP	-	-	-	-
PUSH(.B)	src	将源压入堆栈	SP - 2 → SP、src → @SP	-	-	-	-
RET ⁽¹⁾		从子例程返回	@SP → PC、SP + 2 → SP	-	-	-	-
RETI		从中断返回		*	*	*	*
RLA(.B) ⁽¹⁾	dst	算术左旋		*	*	*	*
RLC(.B) ⁽¹⁾	dst	带 C 的循环左移		*	*	*	*
RRA(.B)	dst	算术右旋转		0	*	*	*
RRC(.B)	dst	带 C 的循环右移		*	*	*	*
SBC(.B) ⁽¹⁾	dst	从目标中减去 C 的反码	dst+0FFFFh+C→dst	*	*	*	*
SETC ⁽¹⁾		置位 C	1→C	-	-	-	1
SETN ⁽¹⁾		置位 N	1→N	-	1	-	-
SETZ ⁽¹⁾		置位 Z	1→Z	-	-	1	-
SUB(.B)	src, dst	从目的中减去源	dst+.not.src+1→dst	*	*	*	*
SUBC(.B)	src, dst	从 dst 中减去源和 C 的反码	dst+.not.src+C→dst	*	*	*	*
SWPB	dst	交换字节		-	-	-	-
SXT	dst	扩展符		0	*	*	*
TST(.B) ⁽¹⁾	dst	测试目的操作数	dst+0FFFFh+1	0	*	*	1
XOR(.B)	src, dst	将源和目标进行异或运算	src .xor. dst → dst	*	*	*	*

(1) 仿真指令

3.4.6 指令集详细信息

3.4.6.1 ADC

***ADC[.W]**

将进位增加到目的

***ADC.B**

将进位加至目的

句法

```
ADC dst 或 ADC.W dst
ADC.B dst
```

运行

dst+C→dst

仿真

```
ADDC #0, dst
ADDC.B #0, dst
```

说明

进位位 (C) 被增加到目的操作数。目的操作数的之前内容丢失。

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位

C：如果 dst 被从 0FFFFh 递增至 0000，则置 1；否则复位

如果 dst 被从 0FFh 递增至 00，则置 1；否则复位

V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

R13 指向的 16 位计数器被添加到 R12 指向的一个 32 位计数器内。

```
ADD @R13,0(R12) ; Add LSDs
ADC 2(R12) ; Add carry to MSD
```

示例

R13 指向的 8 位计数器被添加到 R12 指向的一个 16 位计数器内。

```
ADD.B @R13,0(R12) ; Add LSDs
ADC.B 1(R12) ; Add carry to MSD
```

3.4.6.2 ADD

ADD[W]	将源加至目的
ADD.B	将源加至目的
句法	<pre>ADD src,dst 或 ADD.W src,dst ADD.B src,dst</pre>
运行	src+dst→dst
说明	源操作数被加至目的操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果结果为零，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果结果有进位，则设置；否则清除</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R5 增加 10。进位时执行到 TONI 的跳转。</p> <pre>ADD #10,R5 JC TONI ; Carry occurred ; No carry</pre>
示例	<p>R5 增加 10。进位时执行到 TONI 的跳转。</p> <pre>ADD.B #10,R5 ; Add 10 to Lowbyte of R5 JC TONI ; Carry occurred, if (R5) ≥ 246 [0Ah+0F6h] ; No carry</pre>

3.4.6.3 ADDC

ADDC[.W]	将源和进位加至目的
ADDC.B	将源和进位加至目的
句法	<pre>ADDC src,dst 或 ADDC.W src,dst ADDC.B src,dst</pre>
运行	$src+dst+C \rightarrow dst$
说明	源操作数和进位位 (C) 被加至目的操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	<p>N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z : 如果结果为零, 则置 1; 否则复位</p> <p>C : 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位</p> <p>V : 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R13 指向的 32 位计数器被加至一个 32 位计数器, 在 R13 中的指针上方有十一个字 (20/2 + 2/2)。</p> <pre>ADD @R13+,20(R13) ; ADD LSDs with no carry in ADDC @R13+,20(R13) ; ADD MSDs with carry ... ; resulting from the LSDs</pre>
示例	<p>R13 指向的 24 位计数器被加至一个 24 位计数器, 在 R13 中的指针上方有十一个字。</p> <pre>ADD.B @R13+,10(R13) ; ADD LSDs with no carry in ADDC.B @R13+,10(R13) ; ADD medium Bits with carry ADDC.B @R13+,10(R13) ; ADD MSDs with carry ... ; resulting from the LSDs</pre>

3.4.6.4 AND

AND[W]	源和目的进行与操作
AND.B	源和目的进行与操作
句法	<pre>AND src,dst 或 AND.W src,dst AND.B src,dst</pre>
操作	<pre>src .AND. dst → dst</pre>
说明	源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数中。
状态位	<p>N : 如果设置了结果 MSB , 则置 1 ; 否则复位</p> <p>Z : 如果结果为零, 则置 1 ; 否则复位</p> <p>C : 如果结果不为零, 则置 1 ; 否则复位 (=NOT.零)</p> <p>V : 复位</p>
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R5 中的位被用作一个针对由 TOM 寻址的字的掩码 (#0AA55h)。如果结果为零, 一个分支指令被带到标签 TONI。</p> <pre>MOV #0AA55h,R5 ; Load mask into register R5 AND R5,TOM ; mask word addressed by TOM with R5 JZ TONI ; ; Result is not zero ; ; ; or ; ; AND #0AA55h,TOM JZ TONI</pre>
示例	<p>掩码 #0A5h 的位于 TOM 的低字节逻辑与。如果结果为零, 一个分支指令被带到标签 TONI。</p> <pre>AND.B #0A5h,TOM ; mask Lowbyte TOM with 0A5h JZ TONI ; ; Result is not zero</pre>

3.4.6.5 BIC

BIC.W]

清除目的中的位

BIC.B

清除目的中的位

句法

```
BIC src,dst 或 BIC.W src,dst
BIC.B src,dst
```

操作

```
.NOT.src .AND. dst → dst
```

说明

被反转的源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。

状态位

状态位不受影响。

模式位

OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

RAM 字 LEO 的六个 MSB 被清零。

```
BIC #0FC00h,LEO ; Clear 6 MSBs in MEM(LEO)
```

示例

RAM 字节 LEO 的五个 MSB 被清零。

```
BIC.B #0F8h,LEO ; Clear 5 MSBs in Ram location LEO
```

3.4.6.6 BIS

BIS[.W]	设定目的中的位
BIS.B	设定目的中的位
语法	<code>BIS src,dst</code> 或 <code>BIS.W src,dst</code> <code>BIS.B src,dst</code>
操作	<code>src .OR. dst → dst</code>
说明	源操作数与目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 字 TOM 的六个 LSB 被置位。 <code>BIS #003Fh,TOM ; set the six LSBs in RAM location TOM</code>
示例	RAM 字节 TOM 的三个 MSB 被置位。 <code>BIS.B #0E0h,TOM ; set the 3 MSBs in RAM location TOM</code>

3.4.6.7 位

BIT.W]

测试目的中的位

BIT.B

测试目的中的位

句法

```
BIT src,dst 或 BIT.W src,dst
```

操作

```
src .AND. dst
```

说明

源和目的操作数被逻辑与。结果只影响状态位。源和目的操作数不受影响。

状态位

N : 如果设置了结果的 **MSB** , 则置 1 ; 否则复位

Z : 如果结果为零 , 则置 1 ; 否则复位

C : 如果结果不为零 , 则置 1 ; 否则复位 (.NOT.零)

V : 复位

模式位

OSCOFF , **CPUOFF** 和 **GIE** 不受影响。

示例

如果 **R8** 的位 **9** 被设定 , 一个分支指令被指向标签 **TOM**。

```
BIT    #0200h,R8    ; bit 9 of R8 set?
JNZ    TOM          ; Yes, branch to TOM
...    ; No, proceed
```

示例

如果 **R8** 的位 **3** 被设定 , 一个分支指令被指向标签 **TOM**。

```
BIT.B   #8,R8
JC      TOM
```

示例

一个串行通信接收位 (**RCV**) 被测试。在使用 **BIT** 指令测试单个位时进位位等于被测位的状态 , 因此进位位被后续指令使用 ; 读取的信息被移入寄存器 **RECBUF**。

```
;
; Serial communication with LSB is shifted first:
; xxxx  xxxx  xxxx  xxxx
BIT.B   #RCV,RCCTL ; Bit info into carry
RRC     RECBUF     ; Carry -> MSB of RECBUF
; cxxx  xxxx
.....  ; repeat previous two instructions
.....  ; 8 times
; cccc  cccc
; ^      ^
; MSB    LSB
; Serial communication with MSB shifted first:
BIT.B   #RCV,RCCTL ; Bit info into carry
RLC.B   RECBUF     ; Carry -> LSB of RECBUF
; xxxx  xxxc
.....  ; repeat previous two instructions
.....  ; 8 times
; cccc  cccc
; |
; MSB    LSB
```

3.4.6.8 BR , BRANCH

*BR , BRANCH	跳转到目标
语法	BR dst
运行	dst→PC
仿真	MOV dst,PC
说明	无条件分支会被引导至 64K 地址空间中的任意地址。可使用所有源寻址模式。分支指令是一个字指令。
状态位	状态位不受影响。
示例	给出了所有寻址模式的示例。

```

BR #EXEC ; Branch to label EXEC or direct branch (e.g. #0A4h)
          ; Core instruction MOV @PC+,PC
BR EXEC  ; Branch to the address contained in EXEC
          ; Core instruction MOV X(PC),PC
          ; Indirect address
BR &EXEC ; Branch to the address contained in absolute
          ; address EXEC
          ; Core instruction MOV X(0),PC
          ; Indirect address
BR R5    ; Branch to the address contained in R5
          ; Core instruction MOV R5,PC
          ; Indirect R5
BR @R5   ; Branch to the address contained in the word
          ; pointed to by R5.
          ; Core instruction MOV @R5+,PC
          ; Indirect, indirect R5
BR @R5+  ; Branch to the address contained in the word pointed
          ; to by R5 and increment pointer in R5 afterwards.
          ; The next time--S/W flow uses R5 pointer--it can
          ; alter program execution due to access to
          ; next address in a table pointed to by R5
          ; Core instruction MOV @R5,PC
          ; Indirect, indirect R5 with autoincrement
BR X(R5) ; Branch to the address contained in the address
          ; pointed to by R5 + X (e.g. table with address
          ; starting at X).X can be an address or a label
          ; Core instruction MOV X(R5),PC
          ; Indirect, indirect R5 + X

```

3.4.6.9 CALL

调用	子例程
句法	CALL dst
操作	dst → tmp 评估并存储 dst SP-2 → SP PC → @SP 将 PC 更新至 TOS tmp → PC 将 dst 保存至 PC
说明	在 64K 地址空间内的任一地址上进行子例程调用。所有寻址模式都可以使用。返回地址（下一条指令的地址）存储在堆栈中。调用指令是一个字指令。
状态位	状态位不受影响。
示例	给出了所有寻址模式的示例。

```

CALL #EXEC ; Call on label EXEC or immediate address (e.g. #0A4h)
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, @PC+ -> PC
CALL EXEC ; Call on the address contained in EXEC
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, X(PC) -> PC
; Indirect address
CALL &EXEC ; Call on the address contained in absolute address
; EXEC
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, X(0) -> PC
; Indirect address
CALL R5 ; Call on the address contained in R5
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, R5 -> PC
; Indirect R5
CALL @R5 ; Call on the address contained in the word
; pointed to by R5
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, @R5 -> PC
; Indirect, indirect R5
CALL @R5+ ; Call on the address contained in the word
; pointed to by R5 and increment pointer in R5.
; The next time S/W flow uses R5 pointer
; it can alter the program execution due to
; access to next address in a table pointed to by R5
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, @R5 -> PC
; Indirect, indirect R5 with autoincrement
CALL X(R5) ; Call on the address contained in the address pointed
; to by R5 + X (e.g. table with address starting at X)
; X can be an address or a label
; SP-2 -> SP, PC+2 -> @SP, X(R5) -> PC
; Indirect, indirect R5 + X

```

3.4.6.10 CLR

*CLR[.W]	清零目的
*CLR.B	清零目的
句法	<pre>CLR dst 或 CLR.W dst CLR.B dst</pre>
运行	0→dst
仿真	<pre>MOV #0,dst MOV.B #0,dst</pre>
说明	目的操作数被清零。
状态位	状态位不受影响。
示例	RAM 字 TONI 被清零。 <pre>CLR TONI ; 0 -> TONI</pre>
示例	寄存器 R5 被清零。 <pre>CLR R5</pre>
示例	RAM 字节 TONI 被清零。 <pre>CLR.B TONI ; 0 -> TONI</pre>

3.4.6.11 CLRC

*CLRC	清零进位位
句法	CLRC
运行	0→C
仿真	BIC #1,SR
说明	进位位 (C) 被清零。清零进位指令是字指令。
状态位	N : 不受影响 Z : 不受影响 C : 被清零 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R13 指向的 16 位十进制计数器被添加到 R12 指向的一个 32 位计数器内。 <pre> CLRC ; C=0: defines start DADD @R13,0(R12) ; add 16=bit counter to low word of 32=bit counter DADC 2(R12) ; add carry to high word of 32=bit counter </pre>

3.4.6.12 CLRN

*CLRn	清零负位
句法	CLRN
运行	0→N 或者 (.NOT.src .AND. dst → dst)
仿真	BIC #4,SR
说明	常数 04h 被反转 (0FFBh) 并且与目的操作数进行逻辑与。结果被放置在目的操作数内。 清零负位指令为字指令。
状态位	N : 复位为 0 Z : 不受影响 C : 不受影响 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	状态寄存器内的负位被清零。这避免了对子例程调用的负数的特别处理。

```

          CLRn
          CALL  SUBR
          .....
SUBR     JN     SUBRET ; If input is negative: do nothing and return
          .....
          .....
SUBRET  RET

```

3.4.6.13 CLRZ

*CLRZ	清零零位
句法	CLRZ
运行	0→Z 或 (.NOT.src .AND. dst → dst)
仿真	BIC #2, SR
说明	常数 02h 被反转 (0FFFDh) 并且与目的操作数进行逻辑与。结果被放置在目的操作数内。 清零零位指令为字指令。
状态位	N : 不受影响 Z : 复位为 0 C : 不受影响 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	状态寄存器内的零位被清零。 CLRZ

3.4.6.14 CMP

CMP[W]	比较源和目的
CMP.B	比较源和目的
语法	<pre>CMP src,dst 或 CMP.W src,dst CMP.B src,dst</pre>
操作	<pre>dst+.NOT.src+1 或者 (dst-src)</pre>
说明	从目的操作数中减去目的操作数。这是通过加上源操作数的 1 的补码加 1 来实现的。两个操作数不受影响，不存储结果；仅状态位受到影响。
状态位	<p>N：如果结果为负 ($\text{src} > \text{dst}$)，则置 1，如果为正，则复位 ($\text{src} \leq \text{dst}$)</p> <p>Z：如果为零 ($\text{src} = \text{dst}$)，则置 1；否则复位 ($\text{src} \neq \text{dst}$)</p> <p>C：如果结果的 MSB 有进位，则置 1；否则复位</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R5 和 R6 被比较。如果它们相等，则程序在标签 EQUAL 处继续执行。</p> <pre>CMP R5,R6 ; R5 = R6? JEQ EQUAL ; YES, JUMP</pre>
示例	<p>两个 RAM 块被比较。如果它们不相等，则程序跳转到标签 ERROR 处。</p> <pre>MOV #NUM,R5 ; number of words to be compared MOV #BLOCK1,R6 ; BLOCK1 start address in R6 MOV #BLOCK2,R7 ; BLOCK2 start address in R7 L\$1 CMP @R6+,0(R7) ; Are Words equal? R6 increments JNZ ERROR ; No, branch to ERROR INCD R7 ; Increment R7 pointer DEC R5 ; Are all words compared? JNZ L\$1 ; No, another compare</pre>
示例	<p>由 EDE 和 TONI 寻址的 RAM 字节被比较。如果它们相等，则程序在标签 EQUAL 处继续执行。</p> <pre>CMP.B EDE,TONI ; MEM(EDE) = MEM(TONI)? JEQ EQUAL ; YES, JUMP</pre>

3.4.6.15 DADC

***DADC.W]**

将十进制进位增加到目的

***DADC.B**

将十进制进位加至目的

句法

```
DADC dst 或 DADC.W src, dst
DADC.B dst
```

运行

dst+C→dst (用十进制)

仿真

```
DADD #0, dst
DADD.B #0, dst
```

说明

十进制进位位 (C) 被加入到目的操作数中。

状态位

N : 如果 MSB 为 1, 则置 1

Z : 如果 dst 为 0, 则置 1; 否则复位

C : 如果目的从 9999 至 0000 递增, 则置 1; 否则复位

如果目的从 99 至 00 递增, 则置 1; 否则复位

V : 未定义

模式位

OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

包含在 R5 中的四位十进制数被增加到由 R8 指向的一个八位十进制数上。

```
CLRC                ; Reset carry
                    ; next instruction's start condition is defined
DADD    R5,0(R8)    ; Add LSDs + C
DADC    2(R8)       ; Add carry to MSD
```

示例

包含在 R5 中的两位十进制数被增加到由 R8 指向的一个四位十进制数上。

```
CLRC                ; Reset carry
                    ; next instruction's start condition is defined
DADD.B  R5,0(R8)    ; Add LSDs + C
DADC.B  1(R8)       ; Add carry to MSDs
```

3.4.6.16 DADD

DADD[,W]	十进制源和进位被加至目的
DADD.B	十进制源和进位被加至目的
句法	<pre>DADD src,dst 或 DADD.W src,dst DADD.B src,dst</pre>
运行	src+dst+C →dst (用十进制)
说明	源操作数和目标操作数被视为带有正号的四个二进制编码十进制 (BCD) 数。源操作数和进位位 (C) 以十进制格式加至目标操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。此结果不针对非 BCD 数定义。
状态位	<p>N : 如果 MSB 为 1 , 则置 1 ; 否则复位</p> <p>Z : 如果结果为零 , 则置 1 ; 否则复位</p> <p>C : 如果结果大于 9999 , 则置 1</p> <p>如果结果大于 99 , 则置 1</p> <p>V : 未定义</p>
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R5 和 R6 中包含的八位 BCD 数字以十进制格式加至 R3 和 R4 中包含的八位 BCD 数字 (R6 和 R4 包含 MSD) 。</p> <pre>CLRC ; clear carry DADD R5,R3 ; add LSDs DADD R6,R4 ; add MSDs with carry JC OVERFLOW ; If carry occurs go to error handling routine</pre>
示例	<p>RAM 字节 CNT 中的两位十进制计数器递增 1。</p> <pre>CLRC ; clear carry DADD.B #1,CNT</pre> <p>或</p> <pre>SETC DADD.B #0,CNT ; equivalent to DADC.B CNT</pre>

3.4.6.17 DEC

*DEC[W]	递减目的
*DEC.B	递减目的
句法	<pre>DEC dst 或 DEC.W dst DEC.B dst</pre>
运行	<code>dst - 1 → dst</code>
仿真	<pre>SUB #1, dst SUB.B #1, dst</pre>
说明	目的操作数减 1。原先的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果 <code>dst</code> 包含 1，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果 <code>dst</code> 包含 0，则复位；否则置 1</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位。</p> <p>如果目的的初始值为 08000h，则置 1；否则复位。</p> <p>如果目的的初始值为 080h，则置 1；否则复位。</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R10 递减 1。</p> <pre> DEC R10 ; Decrement R10 ; Move a block of 255 bytes from memory location starting with EDE to memory location starting with ; TONI.Tables should not overlap: start of destination address TONI must not be within the range EDE ; to EDE+0FEh MOV #EDE, R6 MOV #255, R10 L\$1 MOV.B @R6+, TONI-EDE-1 (R6) DEC R10 JNZ L\$1</pre>

不要上面具有图 3-13 中所显示的交叉的例程来传送表格。

(continued)

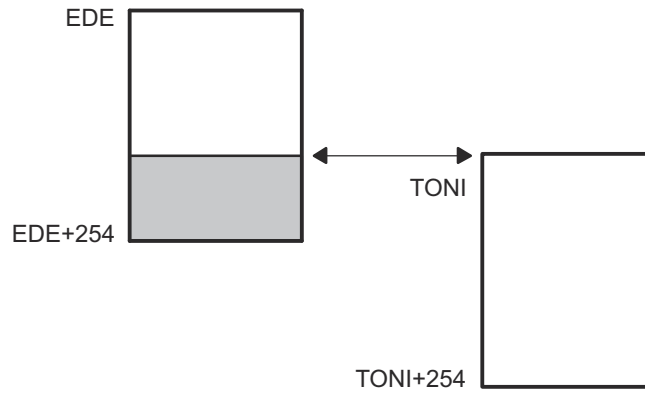


图 3-13. 递减传送

3.4.6.18 DECD

*DECD[.W]	双递减目的
*DECD.B	双递减目的
句法	<pre>DECD dst 或 DECD.W dst DECD.B dst</pre>
运行	$dst - 2 \rightarrow dst$
仿真	<pre>SUB #2, dst</pre>
仿真	<pre>SUB.B #2, dst</pre>
说明	目的操作数递减 2。原先的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果 dst 包含 2，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果 dst 包含 0，则复位；否则置 1</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位。</p> <p>如果目标的初始值为 08001 或 08000h，则置 1；否则复位。</p> <p>如果目标的初始值为 081 或 080h，则置 1；否则复位。</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R10 递减 2。</p> <pre> DECD R10 ; Decrement R10 by two ; Move a block of 255 words from memory location starting with EDE to ; memory location starting with TONI ; Tables should not overlap: start of destination address TONI must not be ; within the range EDE to EDE+0FEh MOV #EDE,R6 MOV #510,R10 L\$1 MOV @R6+,TONI-EDE-2(R6) DECD R10 JNZ L\$1 </pre>
示例	<p>位置 LEO 上的存储器递减 2。</p> <pre>DECD.B LEO ; Decrement MEM(LEO)</pre> <p>状态字节 STATUS 减 2。</p> <pre>DECD.B STATUS</pre>

3.4.6.19 DINT

*DINT	禁用 (通用) 中断
句法	<code>DINT</code>
运行	<code>0→GIE</code> 或 <code>(0FFF7h .AND.SR → SR/.NOT.src .AND. dst → dst)</code>
仿真	<code>BIC #8,SR</code>
说明	所有中断被禁用。 常量 <code>08h</code> 被反转并且与状态寄存器 (SR) 逻辑与。结果被放置在 SR 内。
状态位	状态位不受影响。
模式位	GIE 被清零。OSCOFF 和 CPUOFF 不受影响。
示例	清除状态寄存器中的通用中断使能 (GIE) 位，从而使 32 位计数器能够不中断地移动。这就确保任一中断进行移动期间计数器不会被修改。 <pre> DINT ; All interrupt events using the GIE bit are disabled NOP MOV COUNTHI,R5 ; Copy counter MOV COUNTLO,R6 EINT ; All interrupt events using the GIE bit are enabled </pre>

备注

禁用中断

如果需要保护任何代码序列，使其不中断，则 DINT 应在不可中断序列开始之前至少执行一条指令，或者应后跟一条 NOP 指令。

3.4.6.20 EINT

***EINT**

启用 (通用) 中断

句法

```
EINT
```

运行

1→GIE

或

```
(0008h.OR.SR → SR/.src .OR. dst → dst)
```

仿真

```
BIS #8,SR
```

说明

所有中断被启用。

常量 #08h 与状态寄存器 SR 逻辑与。结果被放置在 SR 内。

状态位

状态位不受影响。

模式位

GIE 被置位。OSCOFF 和 CPUOFF 不受影响。

示例

状态寄存器中的通用中断使能 (GIE) 位被置位。

```

; Interrupt routine of ports P1.2 to P1.7
; P1IN is the address of the register where all port bits are read.P1IFG is
; the address of the register where all interrupt events are latched.
        PUSH.B   &P1IN
        BIC.B    @SP,&P1IFG    ; Reset only accepted flags
        EINT                                ; Preset port 1 interrupt flags stored on stack
                                           ; other interrupts are allowed
        BIT      #Mask,@SP
        JEQ     MaskOK        ; Flags are present identically to mask: jump
        .....
MaskOK  BIC      #Mask,@SP
        .....
        INCD    SP            ; Housekeeping: inverse to PUSH instruction
                                           ; at the start of interrupt subroutine.Corrects
                                           ; the stack pointer.
        RETI
    
```

备注
启用中断

当中断被启用时，启用中断指令 (EINT) 后的指令一直被执行，即使一个中断处理请求在等待中也是如此。

3.4.6.21 INC

*INC[.W]	递增目的
*INC.B	递增目的
句法	<pre>INC dst 或 INC.W dst INC.B dst</pre>
运行	<code>dst +1 → dst</code>
仿真	<code>ADD #1, dst</code>
说明	目的操作数被递增 1。原先的内容丢失。
状态位	<p>N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z : 如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFFFh</code>, 则置 1; 否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFh</code>, 则置 1; 否则复位</p> <p>C : 如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFFFh</code>, 则置 1; 否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFh</code>, 则置 1; 否则复位</p> <p>V : 如果 <code>dst</code> 包含 <code>07FFFh</code>, 则置 1; 否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>07Fh</code>, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>一个进程的状态字节, STATUS, 被递增。当它等于 11 时, 采用一个到 OVFL 的分支指令。</p> <pre>INC.B STATUS CMP.B #11, STATUS JEQ OVFL</pre>

3.4.6.22 INCD

*INCD[,W]	双递增目的
*INCD.B	双递增目的
句法	<pre>INCD dst 或 INCD.W dst INCD.B dst</pre>
运行	$dst + 2 \rightarrow dst$
仿真	<pre>ADD #2, dst ADD.B #2, dst</pre>
示例	目的操作数被递增 2。原先的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFFEh</code>，则置 1；否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FEh</code>，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FFFEh</code> 或 <code>0FFFFh</code>，则置 1；否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>0FEh</code> 或 <code>0FFh</code>，则置 1；否则复位</p> <p>V：如果 <code>dst</code> 包含 <code>07FFEh</code> 或 <code>07FFFh</code>，则置 1；否则复位</p> <p>如果 <code>dst</code> 包含 <code>07Eh</code> 或 <code>07Fh</code>，则置 1；否则复位</p>
模式位	OSCOFF ， CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>堆栈顶部 (TOS) 的项目在不使用一个寄存器的情况下被删除。</p> <pre>PUSH R5 ; R5 is the result of a calculation, which is stored ; in the system stack INCD SP ; Remove TOS by double-increment from stack ; Do not use INCD.B, SP is a word-aligned register RET</pre>
示例	<p>堆栈顶端的字节递增 2。</p> <pre>INCD.B 0(SP) ; Byte on TOS is increment by two</pre>

3.4.6.23 INV

*INV.W]	反转目的
*INV.B	反转目的
句法	<pre> INV dst INV.B dst </pre>
运行	.NOT.dst→dst
仿真	<pre> XOR #0FFFFh,dst XOR.B #0FFh,dst </pre>
说明	目的操作数被反转。原先的内容丢失。
状态位	<p>N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z : 如果 dst 包含 0FFFFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>C : 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位 (=NOT.零)</p> <p>如果结果不为零, 则置 1; 否则复位 (=NOT.零)</p> <p>V : 如果初始目的操作数为负, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R5 的内容被求反 (2 补码)</p> <pre> MOV #00AEh,R5 ; R5 = 000AEh INV R5 ; Invert R5, R5 = 0FF51h INC R5 ; R5 is now negated, R5 = 0FF52h </pre>
示例	<p>存储器字节的内容被求反。</p> <pre> MOV.B #0AEh,LEO ; MEM(LEO) = 0AEh INV.B LEO ; Invert LEO, MEM(LEO) = 051h INC.B LEO ; MEM(LEO) is negated, MEM(LEO) = 052h </pre>

3.4.6.24 JC , JHS

JC 如果进位被设定则跳转

JHS 如果高于或相等则跳转

句法

```
JC label
JHS label
```

操作

如果 **C = 1** : PC + 2 偏移 → PC

如果 **C=0** : 执行之后的指令

说明

状态寄存器进位位 (**C**) 被测试。如果该位被设置, 则包含在指令 **LSB** 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果 **C** 被复位, 则执行跳转之后的指令。**JC** (如果有进位/更高或相同, 则跳转) 用于比较无符号数 (0 至 65536)。

状态位

状态位不受影响。

示例

P1IN.1 信号被用于定义或者控制程序流程。

```
BIT.B    #02h,&P1IN    ; State of signal -> Carry
JC       PROGA         ; If carry=1 then execute program routine A
.....    ; Carry=0, execute program here
```

示例

R5 与 **15** 相比较。如果内容更高或相同, 则跳转到 **LABEL**。

```
CMP     #15,R5
JHS     LABEL          ; Jump is taken if R5 >= 15
.....    ; Continue here if R5 < 15
```

3.4.6.25 JEQ , JZ

JEQ , JZ

如果相等则跳转，如果为零则跳转

句法

```
JEQ label
JZ label
```

操作

如果 Z = 1 : PC + 2 偏移 → PC

如果 Z=0 : 执行之后的指令

说明

状态寄存器零位 (C) 被测试。如果该位被设置，则包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果未设置 Z，则执行跳转之后的指令。

状态位

状态位不受影响。

示例

如果 R7 包含零，则跳转至地址 TONI。

```
TST R7 ; Test R7
JZ TONI ; if zero: JUMP
```

示例

如果 R6 等于表内容，则跳转至地址 LEO。

```
CMP R6,Table(R5) ; Compare content of R6 with content of
                  ; MEM (table address + content of R5)
JEQ LEO ; Jump if both data are equal
..... ; No, data are not equal, continue here
```

示例

如果 R5 为 0，则分支至标签。

```
TST R5
JZ LABEL
.....
```

3.4.6.26 JGE

JGE

如果大于或相等，则跳转。

句法

```
JGE label
```

运行

如果 $(N \cdot XOR \cdot V) = 0$ ，则跳转至标签： $PC + 2 P \text{ 偏移} \rightarrow PC$

如果 $(N \cdot XOR \cdot V) = 1$ ，那么执行后面的指令。

说明

状态寄存器负位 (N) 和溢出位 (V) 被测试。如果 N 和 V 都被置位或复位，则包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果只有一个被置位，跳转之后的指令被执行。

这可实现带符号数的比较。

状态位

状态位不受影响。

示例

当 R6 的内容大于或等于 R7 指向的存储器时，程序在标签 EDE 处继续执行。

```
CMP    @R7,R6    ; R6 >= (R7)?, compare on signed numbers
JGE    EDE       ; Yes, R6 >= (R7)
.....        ; No, proceed
.....
.....
```

3.4.6.27 JL

JL

如果少于则跳转

语法

```
JL label
```

运行

如果 $(N.XOR.V) = 1$ ，则跳转至标签：PC + 2 偏移 → PC

如果 $(N.XOR.V)=0$ 那么执行之后的指令。

说明

状态寄存器负位 (N) 和溢出位 (V) 被测试。如果仅设置了其中一个位，则包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果 N 和 V 都被置位或复位，执行跳转之后的指令。

这可实现带符号数的比较。

状态位

状态位不受影响。

示例

当 R6 的内容小于 R7 指向的存储器时，程序在标签 EDE 处继续执行。

```
CMP    @R7,R6    ; R6 < (R7)?, compare on signed numbers
JL     EDE       ; Yes, R6 < (R7)
.....         ; No, proceed
.....
.....
```

3.4.6.28 JMP

JMP	无条件跳转
句法	JMP label
运行	$PC + 2 \times \text{偏移} \rightarrow PC$
说明	包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。
状态位	状态位不受影响。
提示	该单字指令替代了相对于当前程序计数器的 - 511 至 +512 个字范围内的 BRANCH 指令。

3.4.6.29 JN

JN

如果为负则跳转

句法

```
JN label
```

操作

如果 **N = 1** : $PC + 2 \times \text{偏移} \rightarrow PC$

如果 **N=0** : 执行之后的指令

说明

状态寄存器的负位 (**N**) 被测试。如果该位被设置, 则包含在指令 **LSB** 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果 **N** 被复位, 则执行跳转之后的指令。

状态位

状态位不受影响。

示例

从计数 (**COUNT**) 中减去 **R5** 中的计算结果。如果结果为负值, 则清除 **COUNT** 并且程序继续在另一个路径中执行。

```

SUB   R5,COUNT   ; COUNT - R5 -> COUNT
JN    L$1        ; If negative continue with COUNT=0 at PC=L$1
.....          ; Continue with COUNT>=0
.....
.....
.....
L$1   CLR    COUNT
.....
.....
.....

```


3.4.6.30 JNC , JLO

JNC	如果进位没被设定则跳转
JLO	如果低于则跳转
句法	<pre>JNC label JLO label</pre>
操作	<p>如果 C = 0 : PC + 2 偏移 → PC</p> <p>如果 C=1 : 执行之后的指令</p>
说明	状态寄存器进位位 (C) 被测试。如果该位被复位, 则包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果 C 被设置, 则执行跳转之后的指令。JNC (如果无进位/更低, 则跳转) 用于比较无符号数 (0 至 65536) 。
状态位	状态位不受影响。
示例	R6 中的结果被加至缓冲器 (BUFFER)。如果发生溢出, 则使用地址 ERROR 处的错误处理例程。

```

                ADD    R6,BUFFER    ; BUFFER + R6 -> BUFFER
                JNC    CONT        ; No carry, jump to CONT
ERROR          .....            ; Error handler start
                .....
                .....
                .....
CONT          .....            ; Continue with normal program flow
                .....
                .....

```

示例 如果 **STATUS** 包含 1 或 0, 则分支至 **STL2**。

```

CMP.B    #2,STATUS
JLO     STL 2        ; STATUS < 2
.....          ; STATUS >= 2, continue here

```

3.4.6.31 JNE , JNZ

JNE	如果不相等则跳转
JNZ	如果不为零则跳转
句法	<pre>JNE label JNZ label</pre>
操作	<p>如果 Z = 0 : PC + 2 a 偏移 → PC</p> <p>如果 Z=1 : 执行之后的指令</p>
说明	状态寄存器零位 (C) 被测试。如果该位被复位, 则包含在指令 LSB 中的 10 位有符号偏移被加至程序计数器。如果 Z 被设置, 则执行跳转之后的指令。
状态位	状态位不受影响。
示例	<p>如果 R7 和 R8 的内容不同, 则跳转至地址 TONI。</p> <pre>CMP R7,R8 ; COMPARE R7 WITH R8 JNE TONI ; if different: jump ; if equal, continue</pre>

3.4.6.32 MOV

MOV[.W]

将源移动到目的

MOV.B

将源移动到目的

句法

```
MOV src,dst 或 MOV.W src,dst
MOV.B src,dst
```

运行

src→dst

说明

源操作数被移动至目的操作数。

源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。

状态位

状态位不受影响。

模式位

OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

表 EDE 的内容 (数据字) 被复制到表 TOM。表格的长度必须是 020h 个位置。

```

MOV    #EDE,R10           ; Prepare pointer
MOV    #020h,R9          ; Prepare counter
Loop   MOV    @R10+,TOM-EDE-2(R10) ; Use pointer in R10 for both tables
        DEC    R9           ; Decrement counter
        JNZ   Loop         ; Counter not 0, continue copying
        .....             ; Copying completed
        .....
        .....
```

示例

表 EDE 的内容 (字节数据) 被复制到表 TOM。表格的长度应该是 020h 个位置

```

MOV    #EDE,R10           ; Prepare pointer
MOV    #020h,R9          ; Prepare counter
Loop   MOV.B   @R10+,TOM-EDE-1(R10) ; Use pointer in R10 for
        .....             ; both tables
        DEC    R9           ; Decrement counter
        JNZ   Loop         ; Counter not 0, continue
        .....             ; copying
        .....             ; Copying completed
        .....
```

3.4.6.33 NOP

*NOP	无操作
句法	NOP
运行	无
仿真	MOV #0, R3
说明	不执行操作。软件检查期间或者定义的等待时间内，此指令可被用于指令的删除。
状态位	状态位不受影响。 NOP 指令主要有两个用途： <ul style="list-style-type: none"> • 填充一个、两个、或三个存储器字 • 跳转软件时序

备注

模拟无操作指令

其他指令可以模拟 NOP 功能，同时提供不同数量的指令周期和代码字。一些示例为：

```
MOV #0,R3           ; 1 cycle, 1 word
MOV 0(R4),0(R4)    ; 6 cycles, 3 words
MOV @R4,0(R4)      ; 5 cycles, 2 words
BIC #0,EDE(R4)     ; 4 cycles, 2 words
JMP $+2            ; 2 cycles, 1 word
BIC #0,R5          ; 1 cycle, 1 word
```

不过，在使用这些示例时应小心，以防止出现意外结果。例如，如果使用了 MOV 0(R4), 0(R4)，R4 中的值为 120h，则看门狗计时器（地址 120h）发生安全违例，因为未使用安全密钥。

3.4.6.34 POP

*POP[.W]

将字从堆栈弹出至目的

*POP.B

将字节从堆栈弹出至目的

句法

```
POP dst
POP.B dst
```

运行

@SP→temp

SP+2→SP

temp→dst

仿真

```
MOV @SP+,dst 或 MOV.W @SP+,dst
MOV.B @SP+,dst
```

说明

堆栈指针 (TOS) 指向的堆栈位置被移动到目标。之后，堆栈指针递增 2。

状态位

状态位不受影响。

示例

R7 的内容和状态寄存器被从堆栈中恢复。

```
POP R7 ; Restore R7
POP SR ; Restore status register
```

示例

RAM 字节 LEO 的内容被从堆栈中恢复。

```
POP.B LEO ; The low byte of the stack is moved to LEO.
```

示例

R7 的内容被从堆栈中恢复。

```
POP.B R7 ; The low byte of the stack is moved to R7,
; the high byte of R7 is 00h
```

示例

从堆栈中恢复 R7 指向的存储器内容和状态寄存器。

```
POP.B 0(R7) ; The low byte of the stack is moved to the
; the byte which is pointed to by R7
; Example: R7 = 203h
; Mem(R7) = low byte of system stack
; Example: R7 = 20Ah
; Mem(R7) = low byte of system stack
POP SR ; Last word on stack moved to the SR
```

备注

系统堆栈指针

系统堆栈指针 (SP) 始终递增 2，与字节后缀无关。

3.4.6.35 PUSH

PUSH[W]	将字压入堆栈
PUSH.B	将字节压入堆栈
句法	<code>PUSH src 或 PUSH.W src</code> <code>PUSH.B src</code>
运行	<code>SP-2→SP</code> <code>src→@SP</code>
说明	堆栈指针递减二，然后源操作数移动到由堆栈指针 (TOS) 进行寻址的 RAM 字。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	状态寄存器和 R8 的内容被保存在堆栈内。

```
PUSH    SR      ; save status register
PUSH    R8      ; save R8
```

示例 外设 TCDAT 的内容被保存在堆栈上。

```
PUSH.B  &TCDAT ; save data from 8-bit peripheral module,
           ; address TCDAT, onto stack
```

备注

系统堆栈指针

系统堆栈指针 (SP) 始终递减 2，与字节后缀无关。

3.4.6.36 RET

*RET	从子例程返回
句法	<code>RET</code>
运行	<code>@SP→PC</code> <code>SP+2→SP</code>
仿真	<code>MOV @SP+, PC</code>
说明	由 CALL 指令压入堆栈的返回地址被移动到程序计数器。程序继续在子例程调用之后的代码地址上执行。
状态位	状态位不受影响。

3.4.6.37 RETI

RETI	从中断返回
句法	RETI
运行	TOS→SR SP+2→SP TOS→PC SP+2→SP
说明	<p>通过将当前的 SR 内容替换为 TOS 内容，状态寄存器恢复为中断服务例程开始时的值。堆栈指针 (SP) 递增二。</p> <p>程序计数器恢复为中断服务开始时的值。这是被中断程序流程之后的连续步骤。通过用 TOS 存储器内容替换当前 PC 内容来执行恢复。堆栈指针 (SP) 递增。</p>
状态位	<p>N：从系统堆栈中恢复</p> <p>Z：从系统堆栈中恢复</p> <p>C：从系统堆栈中恢复</p> <p>V：从系统堆栈中恢复</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 从系统堆栈中恢复。
示例	图 3-14 解释了主程序中断。

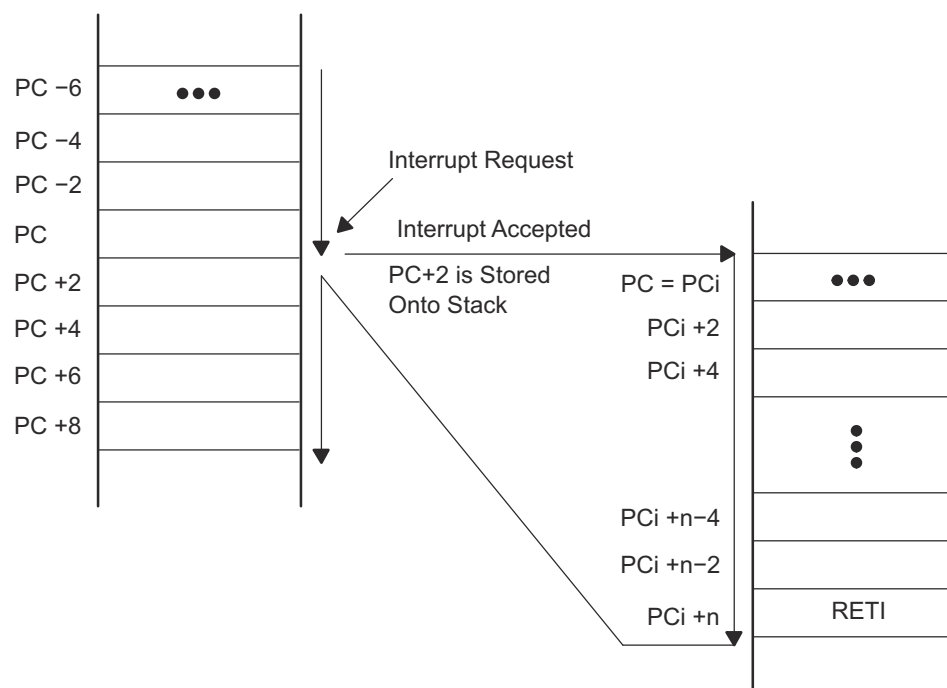


图 3-14. 主程序中断

3.4.6.38 RLA

***RLA[.W]**

算术左旋转

***RLA.B**

算术左旋转

句法

```
RLA dst 或 RLA.W dst
RLA.B dst
```

运行

$C \leftarrow MSB \leftarrow MSB-1 \dots LSB+1 \leftarrow LSB \leftarrow 0$

仿真

```
ADD dst, dst
ADD.B dst, dst
```

说明

目的操作数如图 3-15 中显示的那样左移一个位置。MSB 被移入进位位 (C)，而 LSB 用 0 填充。RLA 指令运行为一个带符号的 2 倍乘。

如果在执行操作之前 $dst \geq 04000h$ 且 $dst < 0C000h$ ，则会发生溢出：结果的符号发生更改。

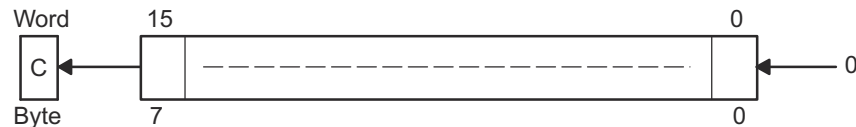


图 3-15. 目标操作数 - 算术左移

如果在执行操作之前 $dst \geq 040h$ 且 $dst < 0C0h$ ，则会发生溢出：结果的符号发生更改。

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位

C：从 MSB 载入

V：如果发生算术溢出，则设置：

初始值为 $04000h \leq dst < 0C000h$ ；否则复位

如果发生算术溢出，则设置：

初始值为 $040h \leq dst < 0C0h$ ；否则复位

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

R7 乘以 2。

```
RLA R7 ; Shift left R7 (x 2)
```

示例

R7 的低字节乘以 4。

```
RLA.B R7 ; Shift left low byte of R7 (x 2)
RLA.B R7 ; Shift left low byte of R7 (x 4)
```

(continued)

备注

RLA 的替代指令

汇编程序不识别此指令：

```
RLA @R5+, RLA.B @R5+ 或 RLA(.B) @R5
```

它必须由以下指令替代：

```
ADD @R5+, -2(R5)、ADD.B @R5+, -1(R5) 或 ADD(.B) @R5
```

3.4.6.39 RLC 所取代：

***RLC[W]**

通过进位左旋

***RLC.B**

通过进位左旋

语法

RLC dst 或 RLC.W dst
RLC.B dst

运行

$C \leftarrow \text{MSB} \leftarrow \text{MSB}-1 \dots \text{LSB}+1 \leftarrow \text{LSB} \leftarrow C$

仿真

ADDC dst, dst

说明

如图 3-16 中所示，目的操作数向左移动一个位置。进位位 (C) 被移入 LSB，而 MSB 被移入进位位 (C)。

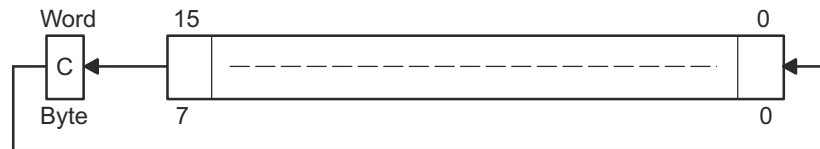


图 3-16. 目标操作数 - 带进位左移

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位

C：从 MSB 载入

V：如果发生算术溢出，则置 1

初始值为 $04000h \leq \text{dst} < 0C000h$ ；否则复位

如果发生算术溢出，则置 1：

初始值为 $040h \leq \text{dst} < 0C0h$ ；否则复位

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

R5 被左移一个位置。

```
RLC    R5          ; (R5 x 2) + C -> R5
```

示例

输入 P1IN.1 信息被移入 R5 的 LSB。

```
BIT.B  #2, &P1IN   ; Information -> Carry
RLC    R5          ; Carry=P0in.1 -> LSB of R5
```

示例

MEM(LEO) 内容被左移一个位置。

```
RLC.B  LEO        ; Mem(LEO) x 2 + C -> Mem(LEO)
```

(continued)

备注

RLC 和 RLC.B 的替代指令

汇编程序不识别此指令：

```
RLC @R5+, RLC @R5 或 RLC(.B) @R5
```

它必须由以下指令替代：

```
ADDC @R5+,-2(R5)、ADDC.B @R5+,-1(R5) 或 ADDC(.B) @R5
```

3.4.6.40 RRA

RRA[W]

算术右旋转

RRA.B

算术右旋转

句法

```
RRA dst 或 RRA.W dst
RRA.B dst
```

操作

MSB→MSB , MSB→MSB-1, ...LSB+1→LSB , LSB→C

说明

目的操作数如图 3-17 中显示的那样右移一个位置。MSB 移入 MSB , MSB 移入 MSB-1 , LSB+1 移入 LSB。

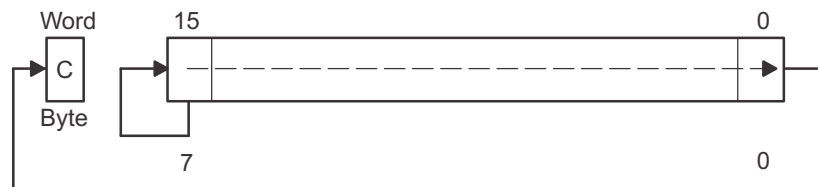


图 3-17. 目标操作数 - 算术右移

状态位

N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位

Z : 如果结果为零, 则置 1; 否则复位

C : 从 LSB 载入

V : 复位

模式位

OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

R5 被右移一个位置 MSB 保存之前的值。它的操作与算术除以 2 等效。

```
RRA R5 ; R5/2 -> R5
; The value in R5 is multiplied by 0.75 (0.5 + 0.25).
;
PUSH R5 ; Hold R5 temporarily using stack
RRA R5 ; R5 x 0.5 -> R5
ADD @SP+,R5 ; R5 x 0.5 + R5 = 1.5 x R5 -> R5
RRA R5 ; (1.5 x R5) x 0.5 = 0.75 x R5 -> R5
.....
```

示例

R5 的低字节被右移一个位置。MSB 保存之前的值。它的操作与算术除以 2 等效。

```
RRA.B R5 ; R5/2 -> R5: operation is on low byte only
; High byte of R5 is reset
PUSH.B R5 ; R5 x 0.5 -> TOS
RRA.B @SP ; TOS x 0.5 = 0.5 x R5 x 0.5 = 0.25 x R5 -> TOS
ADD.B @SP+,R5 ; R5 x 0.5 + R5 x 0.25 = 0.75 x R5 -> R5
.....
```

3.4.6.41 RRC

RRC[W]

通过进位右旋转

RRC.B

通过进位右旋转

句法

```
RRC dst 或 RRC.W dst
RRC dst
```

运行

C→MSB→MSB-1 ...LSB+1→LSB→C

说明

目的操作数如图 3-18 中显示的那样右移一个位置。进位位 (C) 移入 MSB，LSB 移入进位位 (C)。

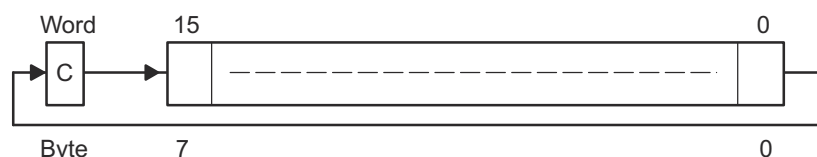


图 3-18. 目标操作数 - 带进位右移

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位

C：从 LSB 载入

V：复位

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIEare 不受影响。

示例

R5 被右移一个位置。MSB 被载入 1。

```
SETC          ; Prepare carry for MSB
RRC R5       ; R5/2 + 8000h -> R5
```

示例

R5 被右移一个位置。MSB 被载入 1。

```
SETC          ; Prepare carry for MSB
RRC.B R5     ; R5/2 + 80h -> R5; low byte of R5 is used
```

3.4.6.42 SBC

*SBC[W]	从目标中减去源和借位位/进位的反码
*SBC.B	从目标中减去源和借位位/进位的反码
语法	<pre>SBC dst 或 SBC.W dst SBC.B dst</pre>
运行	<pre>dst+0FFFFh+C→dst dst+0FFh+C→dst</pre>
仿真	<pre>SUBC #0,dst SBC.B #0,dst</pre>
说明	进位位 (C) 被加至目的操作数减一。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果结果为零，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果结果的 MSB 有进位，则置 1；否则复位。</p> <p>如果无借位，则置 1；如果有借位，则复位。</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位。</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	<p>R13 指向的 16 位计数器被从一个 R12 指向的 32 位计数器内减去。</p> <pre>SUB @R13,0(R12) ; Subtract LSDs SBC 2(R12) ; Subtract carry from MSD</pre>
示例	<p>R13 指向的 8 位计数器被从一个 R12 指向的 16 位计数器内。</p> <pre>SUB.B @R13,0(R12) ; Subtract LSDs SBC.B 1(R12) ; Subtract carry from MSD</pre>

备注

借位实现

借位被视为进位的反码：	借位	进位位
	是	0
	否	1

3.4.6.43 SETC

*SETC	设定进位位
句法	SETC
运行	1→C
仿真	BIS #1,SR
说明	进位位 (C) 被设定。
状态位	N : 不受影响 Z : 不受影响 C: 设置 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	十进制减法仿真。 用十进制减法从 R6 中减去 R5。 假定 R5=03987h 而 R6=04137h <pre> DSUB ADD #06666h,R5 ; Move content R5 from 0-9 to 6-0Fh ; R5 = 03987h + 06666h = 09FEDh ; Invert this (result back to 0-9) ; R5 = .NOT.R5 = 06012h ; Prepare carry = 1 ; Emulate subtraction by addition of: ; (010000h - R5 - 1) ; R6 = R6 + R5 + 1 ; R6 = 0150h </pre>

3.4.6.44 SETN

*SETN	设定负位
句法	SETN
运行	1→N
仿真	BIS #4, SR
说明	负位 (N) 被设定。
状态位	N : 设置 Z : 不受影响 C : 不受影响 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。

3.4.6.45 SETZ

*SETZ	设定零位。
句法	SETZ
运行	1→Z
仿真	BIS #2,SR
说明	零位 (Z) 被设定。
状态位	N : 不受影响 Z : 设置 C : 不受影响 V : 不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。

3.4.6.46 SUB

SUB[.W]	从目的中减去源
SUB.B	从目的中减去源
句法	<pre>SUB src,dst 或 SUB.W src,dst SUB.B src,dst</pre>
运行	$dst+.NOT.src+1 \rightarrow dst$ 或 $[(dst-src \rightarrow dst)]$
说明	通过加上源操作数的 1 的补码和常数 1，从目标操作数中减去源操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	<p>N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位</p> <p>Z：如果结果为零，则置 1；否则复位</p> <p>C：如果结果的 MSB 有进位，则置 1；否则复位。</p> <p>如果无借位，则置 1；如果有借位，则复位。</p> <p>V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位</p>
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	参见 SBC 介绍中的示例。
示例	参见 SBC.B 介绍中的示例。

备注

借位被视为取反码

借位被视为进位的反码：

借位	进位位
是	0
否	1

3.4.6.47 SUBC , SBB

SUBC[W], SBB[W] 从目标中减去源和借位位/进位的反码

SUBC.B, SBB.B 从目标中减去源和借位位/进位的反码

语法

```
SUBC    src,dst    or    SUBC.W  src,dst    or
SBB     src,dst    or    SBB.W   src,dst
SUBC.B  src,dst    or    SBB.B   src,dst
```

运行

$dst+.NOT.src+C \rightarrow dst$

或者

$(dst-src-1+C \rightarrow dst)$

说明

通过加上源操作数的 1 的补码和进位位 (C)，从目标操作数中减去源操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位。

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位。

C：如果结果的 MSB 有进位，则置 1；否则复位。

如果无借位，则置 1；如果有借位，则复位。

V：如果发生算术溢出，则置 1；否则复位。

模式位

OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

减去两个浮点尾数 (24 位)。

LSB 位于 R13 和 R10 中，MSB 位于 R12 和 R9 中。

```
SUB.W   R13,R10    ; 16-bit part, LSBs
SUBC.B  R12,R9     ; 8-bit part, MSBs
```

示例

从 R10 和 R11 (MSD) 中的 16 位计数器中减去 R13 指向的 16 位计数器。

```
SUB.B   @R13+,R10 ; Subtract LSDs without carry
SUBC.B  @R13,R11  ; Subtract MSDs with carry
...     ; resulting from the LSDs
```

备注

借位实现

借位被视为进位的反码：

借位	进位位
是	0
否	1

3.4.6.48 SWPB

SWPB

交换字节

句法

SWPB dst

运行

位 15 至 8 ↔ 位 7 至 0

说明

如图 3-19 所示，目的操作数高字节和低字节互换。

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

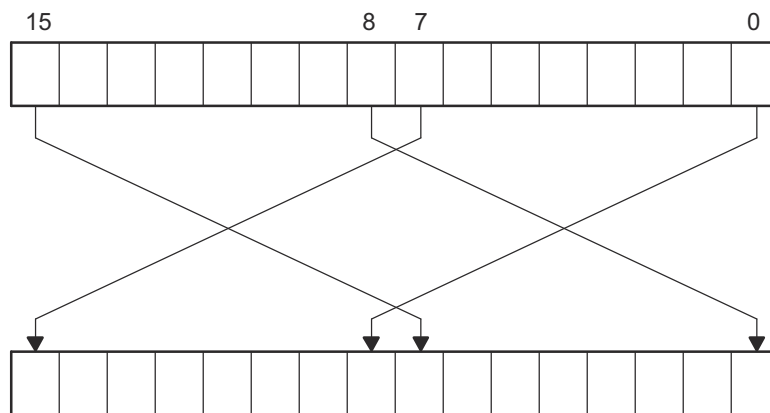


图 3-19. 目标操作数 - 字节交换

示例

```
MOV #040BFh,R7 ; 0100000010111111 -> R7
SWPB R7 ; 1011111101000000 in R7
```

示例

R5 中的值乘以 256。结果被保存在 R5，R4 中。

```
SWPB R5 ;
MOV R5,R4 ; Copy the swapped value to R4
BIC #0FF00h,R5 ; Correct the result
BIC #00FFh,R4 ; Correct the result
```

3.4.6.49 SXT

SXT

扩展符

句法

SXT dst

运行

位 7 → 位 8.....位 15

说明

如图 3-20 所示，低字节的符号被扩展至高字节。

状态位

N：如果结果为负，则置 1，如果为正，则复位

Z：如果结果为零，则置 1；否则复位

C：如果结果不为零，则置 1；否则复位 (.NOT.零)

V：复位

模式位

OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

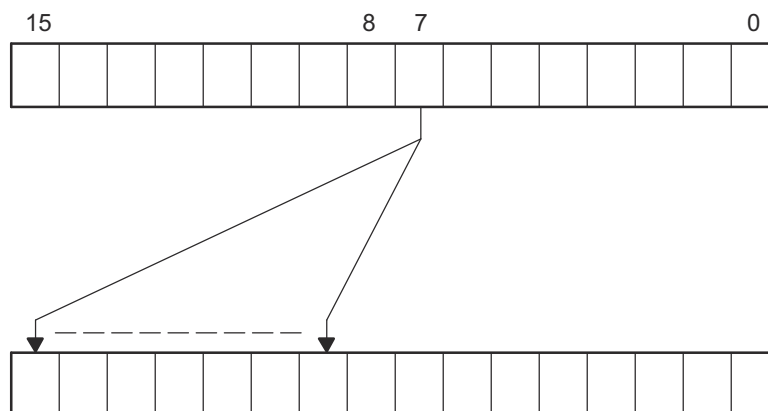


图 3-20. 目标操作数 - 符号扩展

示例

将 P1IN 值载入到 R7。符号扩展指令的操作使用位 7 的值将位 8 扩展到 15。

然后 R7 被加至 R6。

```
MOV.B  &P1IN,R7 ; P1IN = 080h:  ....1000 0000
SXT    R7        ; R7 = 0FF80h:  1111 1111 1000 0000
```

3.4.6.50 TST

*TST[W]	测试目的
*TST.B	测试目的
句法	TST dst 或 TST.W dst TST.B dst
运行	dst+0FFFFh+1 dst+0FFh+1
仿真	CMP #0, dst CMP.B #0, dst
说明	目的操作数与零相比较。根据结果设置状态位。目的操作数不受影响。
状态位	N：如果目的操作数为负，则置 1，如果为正，则复位 Z：如果目的操作数包含零，则置 1；否则复位 C：设置 V：复位
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R7 被测试。如果它为负，则继续在 R7NEG 上执行；如果为正但又不为零，则继续在 R7POS 上执行。

```

TST    R7        ; Test R7
JN     R7NEG     ; R7 is negative
JZ     R7ZERO    ; R7 is zero
R7POS  .....    ; R7 is positive but not zero
R7NEG  .....    ; R7 is negative
R7ZERO .....    ; R7 is zero

```

示例 R7 的低字节被测试。如果它为负，则继续在 R7NEG 上执行；如果为正但又不为零，则继续在 R7POS 上执行。

```

TST.B  R7        ; Test low byte of R7
JN     R7NEG     ; Low byte of R7 is negative
JZ     R7ZERO    ; Low byte of R7 is zero
R7POS  .....    ; Low byte of R7 is positive but not zero
R7NEG  .....    ; Low byte of R7 is negative
R7ZERO .....    ; Low byte of R7 is zero

```

3.4.6.51 XOR

XOR[W]	将源与目的进行异或操作
XOR.B	将源与目的进行异或操作
句法	<code>XOR src,dst 或 XOR.W src,dst XOR.B src,dst</code>
操作	<code>src .XOR. dst → dst</code>
说明	源和目的操作数进行异或操作。结果被放置在目的操作数中。源操作数不受影响。
状态位	N : 如果设置了结果 MSB , 则置 1 ; 否则复位 Z : 如果结果为零 , 则置 1 ; 否则复位 C : 如果结果不为零 , 则置 1 ; 否则复位 (=NOT.零) V : 如果两个操作数都是负值 , 则置 1
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R6 中被置位的位转换 RAM 字 TONI 中的位。 <code>XOR R6,TONI ; Toggle bits of word TONI on the bits set in R6</code>
示例	R6 中被置位的位转换 RAM 字节 TONI 中的位。 <code>XOR.B R6,TONI ; Toggle bits of byte TONI on the bits set in ; low byte of R6</code>
示例	将 R7 低字节中与 RAM 字节 EDE 中的位不同的位复位为 0。 <code>XOR.B EDE,R7 ; Set different bit to "1s" INV.B R7 ; Invert Lowbyte, Highbyte is 0h</code>



本章介绍了可访问 1MB 存储器的扩展 MSP430X 16 位 RISC CPU、其寻址模式和指令集。地址空间超过 64KB 的所有 MSP430 器件中都实现了 MSP430X CPU。

4.1 CPU 介绍	122
4.2 中断	124
4.3 CPU 寄存器	125
4.4 寻址模式	131
4.5 MSP430 和 MSP430X 指令	146
4.6 指令集说明	163

4.1 CPU 介绍

MSP430X CPU 包含专门为现代编程技术（例如计算分支、表处理和 C 等高级语言的使用）设计的功能。MSP430X CPU 无需分页即可对 1MB 的地址范围进行寻址。此外，与 MSP430 CPU 相比，MSP430X CPU 在某些情况下具有更少的中断开销周期和更少的指令周期，同时保持与 MSP430 CPU 相同或更佳代码密度。MSP430X CPU 向后兼容 MSP430 CPU。

MSP430X CPU 的特性包括：

- RISC 架构
- 垂直架构
- 包括程序计数器、状态寄存器和堆栈指针的完全寄存器访问
- 单周期寄存器操作
- 较大的寄存器文件减少了到存储器的取指令操作
- 20 位地址总线可在无需分页的情况下在整个存储器范围内实现直接访问和分支指令
- 16 位数据总线允许字宽自变量的直接操作
- 常数发生器提供最多 6 个经常使用的立即值并减少了代码尺寸
- 无需中间寄存器保持的直接内存到内存传送
- 字节、字、和 20 位地址字寻址

图 4-1 显示了 MSP430X CPU 的框图。

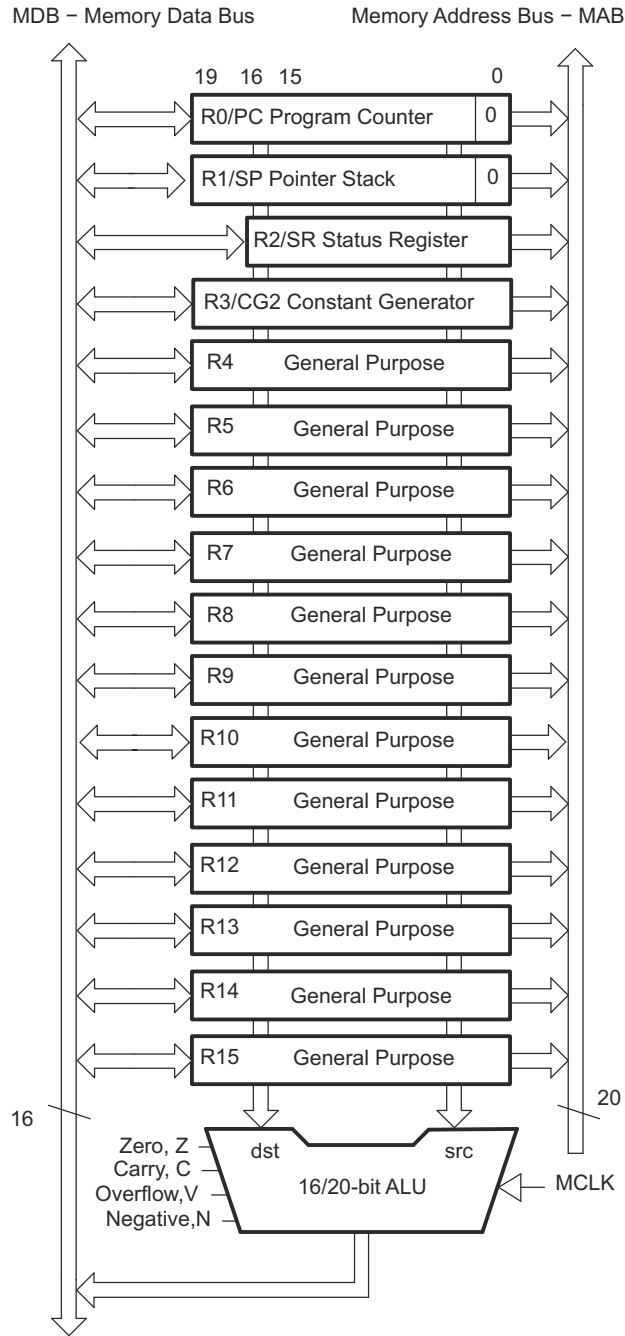


图 4-1. MSP430X CPU 框图

4.2 中断

MSP430X 使用与 MSP430 一样的中断结构：

- 无需轮询的矢量中断
- 中断矢量位于地址 0FFFEh 以下的位置

第二章 系统复位、中断、和运行模式第二节中断对 MSP430 和 MSP430X CPU 的中断操作进行了说明。中断矢量包含指向较低 64KB 存储器的 16 位地址。这意味着即使在 MSP430X 器件中，所有中断处理器必须在较低 64KB 存储器内开始。

中断期间，如图 4-2 所示，程序计数器和状态寄存器被压入堆栈。MSP430X 架构通过自动将 PC 位 19:16 添加到堆栈上存储的 SR 值上来高效地存储完整的 20 位 PC 值。当 RETI 指令被执行时，完整的 20 位 PC 被恢复，这样可从中断返回到存储器范围内的任一地址。

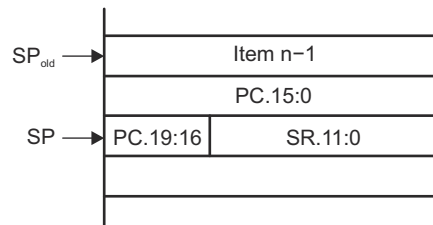


图 4-2. 存储在堆栈上用于中断的 PC

4.3 CPU 寄存器

CPU 包含有 16 个寄存器 (R0 至 R15)。寄存器 R0, R1, R2, 和 R3 有专用功能。寄存器 R4 至 R15 是用于普通用途的工作寄存器。

4.3.1 程序计数器 (PC)

指向下一条指令的 20 位 PC (PC/R0) 被执行。每条指令使用一个偶数数量字节 (2, 4, 6, 或 8 字节)，PC 相应递增。指令访问在字边界上执行，PC 与偶数地址对齐。图 4-3 显示了 PC。

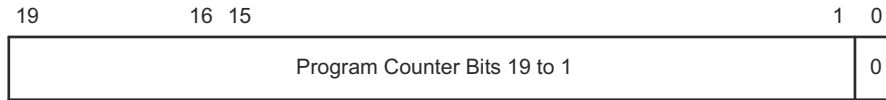


图 4-3. 程序计数器

可使用所有指令和寻址模式来对 PC 进行寻址。几个示例：

```

MOV.W #LABEL,PC ; Branch to address LABEL (lower 64KB)
MOVA #LABEL,PC ; Branch to address LABEL (1MB memory)
MOV.W LABEL,PC ; Branch to address in word LABEL
                ; (lower 64KB)
MOV.W @R14,PC ; Branch indirect to address in
                ; R14 (lower 64KB)
ADDA #4,PC ; Skip two words (1MB memory)
    
```

BR 和 CALL 指令将 PC 的高 4 位复位为 0。BR 或者 CALL 指令只能对低 64KB 地址范围内的地址寻址。当分支指令或者调用时，低 64KB 地址范围以外的地址只能使用 BRA 或者 CALLA 指令寻址。此外，根据所使用的寻址模式，任一直接修改 PC 的指令进行类似操作。例如，MOV.W #value,PC 清除 PC 的高四位，因为它是一条 .W 指令。

PC 通过 CALL (或 CALLA) 指令并在执行中断服务例程期间自动存储在堆栈中。图 4-4 显示了一个 CALLA 指令后，具有返回地址的 PC 的存储。一个 CALL 指令只存储 PC 的位 15:0。

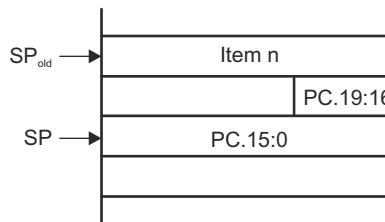


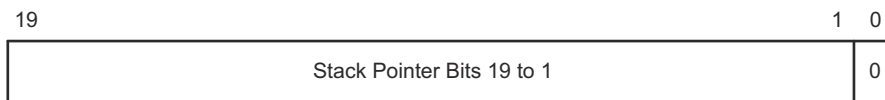
图 4-4. 针对 CALLA 的 PC 堆栈存储

RETA 指令恢复 PC 位 19:0 并且将堆栈指针 (SP) 加 4。RET 指令恢复 PC 位 15:0 并且将 SP 加 2。

4.3.2 堆栈指针 (SP)

CPU 用 20 位 SP (SP/R1) 来存储子例程调用和中断的返回地址。它使用一个先递减、后递增的机制。此外，软件可以通过所有指令和寻址模式使用 SP。图 4-5 显示了 SP。SP 由用户初始化到 RAM 中，并且一直与偶数地址对齐。

图 4-6 展示了堆栈使用情况。图 4-7 显示了当 20 位地址字被压入时的堆栈用法。



```

MOV.W 2(SP),R6      ; Copy Item I2 to R6
MOV.W R7,0(SP)     ; Overwrite TOS with R7
PUSH  #0123h       ; Put 0123h on stack
POP   R8           ; R8 = 0123h
    
```

图 4-5. 堆栈指针

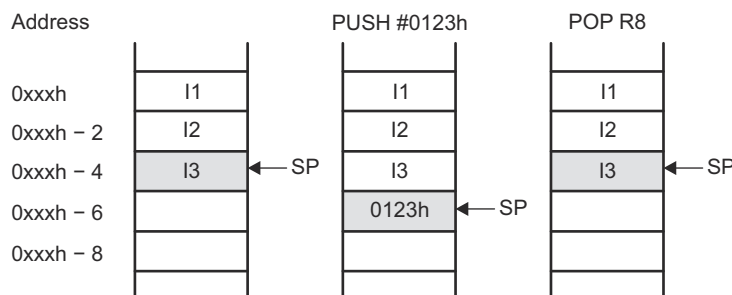


图 4-6. 堆栈用法

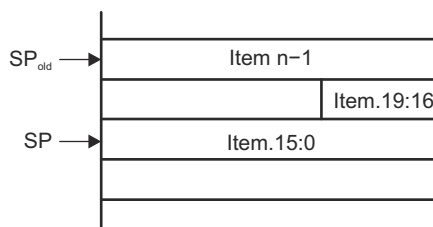


图 4-7. 堆栈上的 PUSH.A 格式

图 4-8 中描述了将 SP 用作一个到 PUSH 和 POP 指令的自变量的特殊情况。

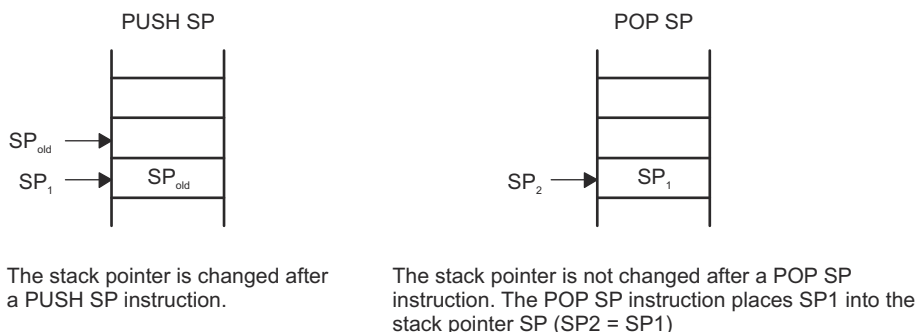


图 4-8. PUSH SP , POP SP 序列

4.3.3 状态寄存器 (SR)

用作一个源或者目标寄存器的 16 位 SR (SR/R2) 之可被用在由字指令寻址的寄存器模式中。其余的寻址模式组合用于支持常数发生器。图 4-9 显示了 SR 位。不要将 20 位值写入 SR。可导致不可预知的运行。

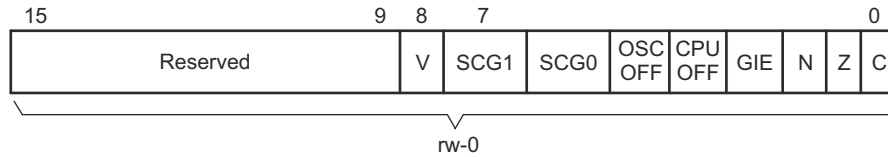


图 4-9. SR 位

表 4-1 描述了 SR 位。

表 4-1. SR 位说明

位	说明
保留	保留
V	溢出。当一个算术运算从信号变量范围内溢出时，这个位被置 1。 ADD(.B)、ADDX(.B,.A)、ADDC(.B)、 ADDCX(.B.A)、ADDA 在以下情况下置 1： 正 + 正 = 负 负 + 负 = 正 否则复位 SUB(.B)、SUBX(.B,.A)、SUBC(.B)、 SUBCX(.B,.A)、SUBA, CMP(.B)、 CMPX(.B,.A)、CMPA 在以下情况下置 1： 正 - 负 = 负 负 - 正 = 正 否则复位
SCG1	系统时钟发生器 1。根据器件系列的不同，这个位可被用于启用/禁用时钟系统内的功能；例如，数控振荡器 (DCO) 偏置启用/禁用。
SCG0	系统时钟发生器 0。根据器件系列的不同，这个位可被用于启用/禁用时钟系统内的功能；例如，锁相环 (FLL) 启用/禁用。
OSCOFF	振荡器关闭。当 LFXT1CLK 不被用于 MCLK 或者 SMCLK 时，这个位用来关闭 LFXT1 晶体振荡器。
CPUOFF	CPU 关闭。当被置位时，这个位关闭 CPU。
GIE	通用中断启用。当被置位时，这个位启用可屏蔽中断。复位时，所有可屏蔽中断被禁用。
N	负。当运算结果为负时，这个位被置 1，而当结果为正时，这个位被清零。
Z	零位。当运算结果为 0 时，这个位被置 1，而当结果非 0 时，这个位被清零。
C	进位。当运算结果产生一个进位时，这个位被置 1，而当没有出现进位时，这个位被清零。

4.3.4 常数发生器寄存器 (CG1 和 CG2)

在无需额外的 16 位字程序代码的情况下，常数发生器寄存器 R2 (CG1) 和 R3 (CG2) 生成六个常用常数。这些常数用表 4-2 中描述的源寄存器寻址模式 (As) 进行选择。

表 4-2. 常数发生器 CG1, CG2 的值

寄存器	作为	常量	备注
R2	00	-	寄存器模式
R2	01	(0)	绝对地址模式
R2	10	00004h	+4, 位处理
R2	11	00008h	+8, 位处理
R3	00	00000h	0, 字处理
R3	01	00001h	+1
R3	10	00002h	+2, 位处理
R3	11	FFh, FFFFh, FFFFFh	-1, 字处理

常数发生器的优势在于：

- 无需特殊指令
- 无需用于六个常数的额外代码字
- 检索常数无需代码存储器访问

如果六个常数中的一个被用作一个中间源操作数，汇编程序自动使用常数发生器。用在常数模式的寄存器 R2 和 R3，不能被明确寻址；它们只作为源寄存器运行。

4.3.4.1 常数发生器 - 扩展指令集

MSP430 的 RISC 指令集只有 27 条指令。不过，利用常数发生器，MSP430 汇编器可以支持 24 条额外的仿真指令。例如，单操作数指令：

```
CLR dst
```

由双操作数指令使用同样长度的：

```
MOV R3, dst
```

其中的 #0 被汇编程序所取代，并且在 As=00 时使用 R3。

```
INC dst
```

被：

```
ADD #1, dst
```


4.3.5 通用寄存器 (R4 至 R15)

12 个 CPU 寄存器 (R4 至 R15) 包含 8 位, 16 位, 或 20 位值。对 CPU 寄存器的任何字节写入都会清除位 19:8。任何到寄存器的字写入操作将清零位 19:16。唯一的例外是 SXT 指令。SXT 指令通过完整的 20 位寄存器来扩展此符号。

下面的图表显示了字节、字、和地址字数据的处理。请注意, 如果寄存器是一个字节或者字指令的目的地址, 前缘最高有效位 (MSB) 被复位。

图 4-10 显示了字节处理 (8 位数据, .B 后缀)。显示的是针对一个源寄存器和一个目的存储器字节, 一个源存储器字节和一个目的寄存器的处理。

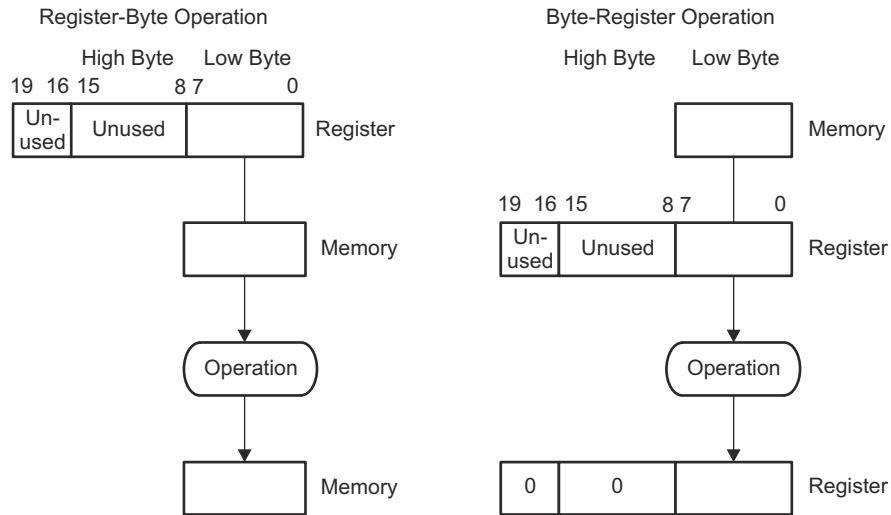


图 4-10. 寄存器-字节/字节-寄存器操作

图 4-11 和图 4-12 显示了 16 位字处理 (.W 后缀)。显示的是针对一个源寄存器和一个目的存储器字, 一个源存储器字和一个目的寄存器的处理。

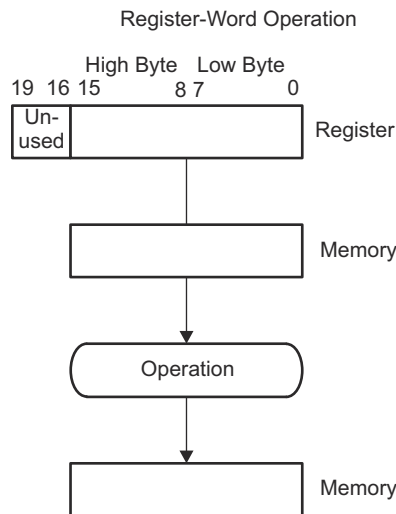


图 4-11. 寄存器-字操作

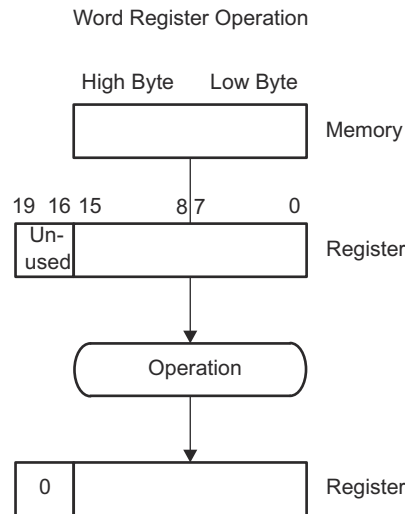


图 4-12. 字-寄存器操作

图 4-13 和图 4-14 显示了 20 位地址字处理 (.A 后缀)。显示的是针对一个源寄存器和一个目的存储器地址字，一个源存储器地址字和一个目的寄存器的处理。

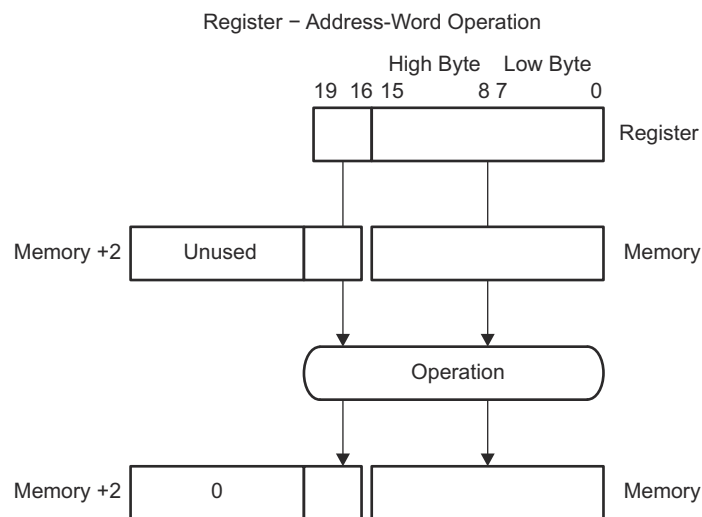


图 4-13. 寄存器-地址字操作

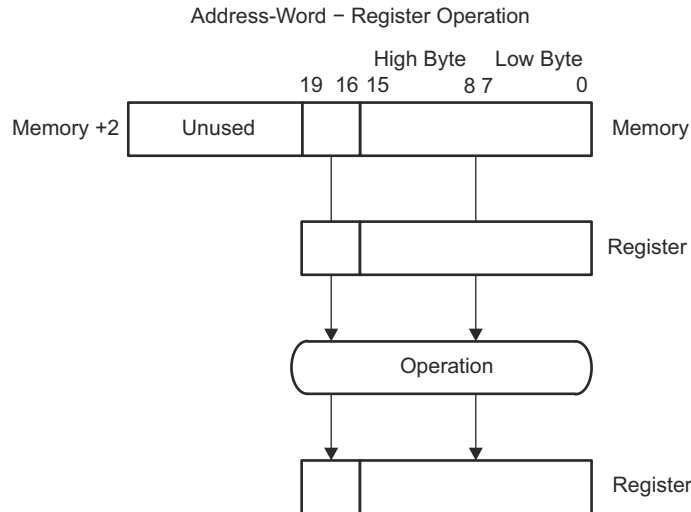


图 4-14. 地址-字-寄存器操作

4.4 寻址模式

针对源操作数七个寻址模式和针对目的操作数的四个寻址模式使用 16 位 或者 20 位地址 (请见表 4-3) 。 MSP430 和 MSP430X 指令在整个 IMB 存储器范围内可用。

表 4-3. 源/目的寻址

As/Ad	寻址模式	句法	说明
00/0	寄存器	Rn	寄存器内容为操作数。
01/1	加索引的	X(Rn)	(Rn + X) 指向操作数。X 被存储在下一个字中，或者存储在之前扩展字和下一个字的组合中。
01/1	符号	ADDR	(PC + X) 指向操作数。X 被存储在下一个字中，或者存储在之前扩展字和下一个字的组合中。加索引的模式 X(PC) 被使用。
01/1	绝对	&ADDR	指令之后的字包含绝对地址。X 被存储在下一个字中，或者存储在之前扩展字和下一个字的组合中。加索引的 X(SR) 被使用。
10/-	间接寄存器	@Rn	Rn 被用作一个指向操作数的指针。
11/-	间接自动递增	@Rn+	Rn 被用作一个指向操作数的指针。对于 .B 指令，Rn 之后递增 1；对于 .W 指令，递增 2；对于 .A 指令，递增 4。
11/-	立即	#N	N 被存储在下一个字中，或者存储在之前扩展字和下一个字的组合中。间接自动递增模式 @PC+ 被使用。

在下面的小节中详细解释了七个寻址模式。大多数的示例显示了针对源和地址的同样的寻址模式，但是在一个指令中源和目的寻址模式的任何有效组合都是可能的。

备注

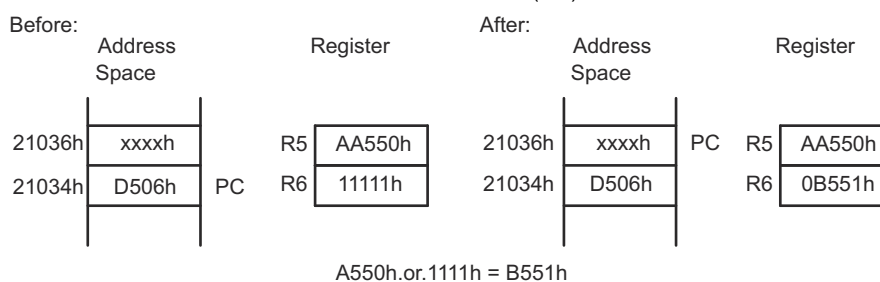
使用标签 EDE、TONI、TOM 和 LEO

在整个 MSP430 文档中，EDE，TONI，TOM，和 LEO 被用作普通标签。它们只是标签而并未特殊含义。

4.4.1 寄存器模式

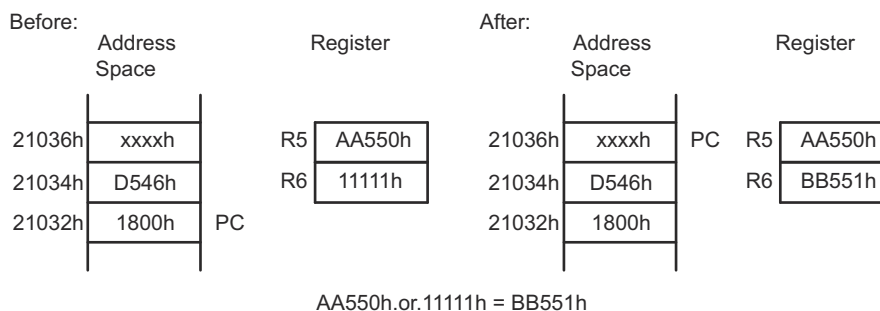
- 运行：操作数为所使用的 CPU 寄存器的 8，16，或者 20 位内容。
- 长度：一个、两个、或者三个字
- 注释：对于源和地址有效
- 字节操作：字节操作只读取源寄存器 **Rsrc** 的八个最低有效位 (LSB)，而将结果写入目的寄存器 **Rdst** 的八个 LSB 中。位 **Rdst.19:8** 被清零。寄存器 **Rsrc** 未被修改。
- 字操作：字操作读取源寄存器 **Rsrc** 的 16 个 LSB，而将结果写入目的寄存器 **Rdst** 的 16 个 LSB 中。位 **Rdst.19:16** 被清零。寄存器 **Rsrc** 未被修改。
- 地址字操作：地址字操作读取源寄存器 **Rsrc** 的 20 个位，而将结果写入目的寄存器 **Rdst** 的 20 个位中。寄存器 **Rsrc** 未被修改。
- SXT 例外：SXT 指令是寄存器操作的唯一一个例外情况。位 7 中低字节的符号被扩展至位 **Rdst.19:8**。
- 示例：`BIS.W R5,R6 ;`

这条指令用 **R6** 的 16 位内容与 **R5** 包含的 16 位数据进行逻辑或 (OR) 操作。**R6.19:16** 被清零。



示例：`BISX.A R5,R6 ;`

这条指令用 **R6** 的 20 位内容与 **R5** 包含的 20 位数据进行逻辑或 (OR) 操作。扩展字包含针对 20 位数据的 A/L 位。这条指令使用位 **A/L:B/W=01** 时的字节模式。这条指令的结果为：



4.4.2 已索引的模式：

通过将符号化的索引添加到一个 CPU 寄存器中，已被索引的模式计算操作数的地址。已索引模式具有三个寻址可能：

- 低 64KB 存储器中的已索引模式
- 具有已索引模式的 MSP430 指令对低 64KB 存储器以上的地址进行寻址。
- 具有已索引模式的 MSP430X 指令

4.4.2.1 低 64KB 存储器中的已索引模式

如果 CPU 寄存器 Rn 指向低 64KB 存储器范围中的一个地址，在添加了 CPU 寄存器 Rn 和符号化的 16 位索引后，计算得出的存储器地址位 19:16 被清零。这意味着计算得出的地址一直位于低 64KB 存储器中，并且不会从低 64KB 存储器空间中上溢或者下溢。RAM 和外设寄存器可用这个方法进行访问并且如图 4-15 所示，在无需修改的情况下现有的 MSP430 软件可用。

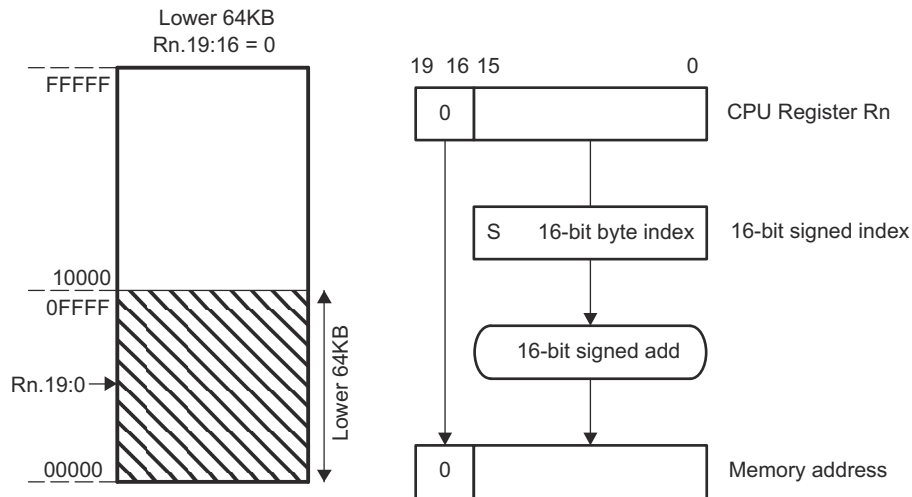
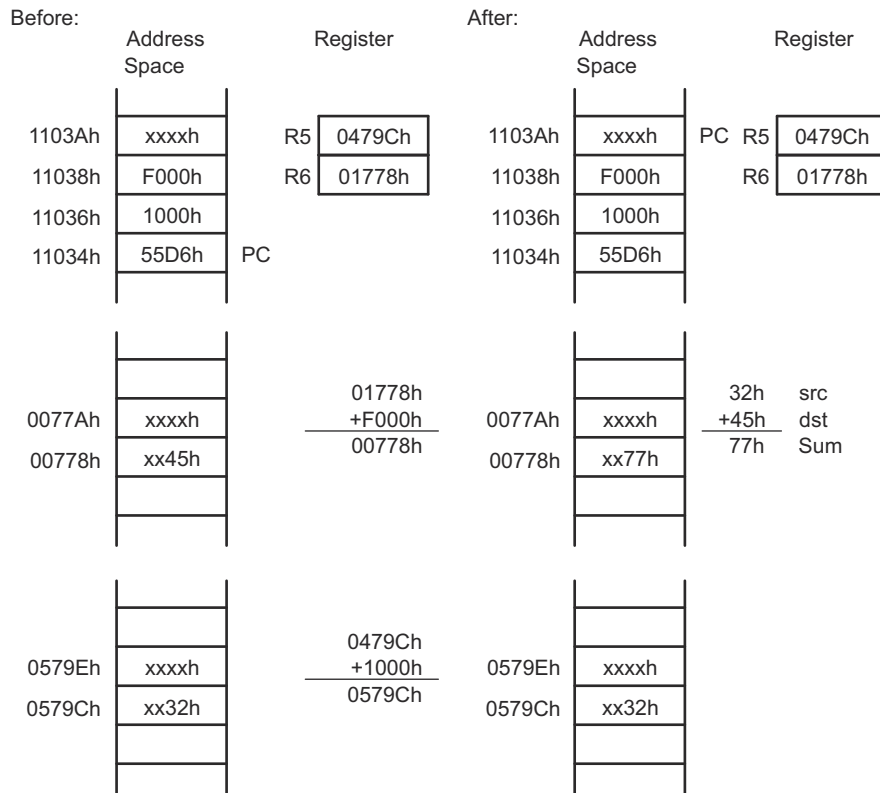


图 4-15. 低 64KB 中的已索引模式

- 长度：两个或者三个字
- 运行：符号化的 16 位索引位于此指令后的下一个字中并且被添加到 CPU 寄存器 Rn 中。得出的位 19:16 被清零，从而给出了一个缩短了 16 位存储器地址，此地址指向范围 00000h 至 0FFFFh 内的一个操作数地址。此操作数是已寻址存储器位置的内容。
- 注释：对于源和目的有效。汇编程序计算寄存器索引并将其插入。
- 示例：`ADD.B 1000h(R5), 0F000h(R6);`
 这条指令加上包含在源字节 1000h(R5) 和目的字节 0F000h(R6) 中的 8 位数据并且将结果防止在目的字节中。由于寄存器 R5 和 R6 中被清零的位 19:16，源和目的字节都位于低 64KB 位置中。
- 源：在截断为一个 16 位地址后，R5 指向的字节 + 1000h 得到地址 0479Ch+1000h=0579Ch。
- 目标：在截断为一个 16 位地址后，R6 指向的字节 + F000h 得到地址 01778h+F000h= 00778h。



4.4.2.2 上部存储器中的具有已索引模式 MSP430 指令

如果 CPU 寄存器 Rn 指向一个低 64KB 存储器以上的地址，Rn 位 19:16 被用于操作数的地址计算。操作数可位于范围 $Rn \pm 32KB$ 内的存储器内，这是因为索引，X，是一个符号化 16 位的值。在这个情况下，操作数的地址会在低 64KB 存储器中上溢或者下溢（请见图 4-16 和图 4-17）。

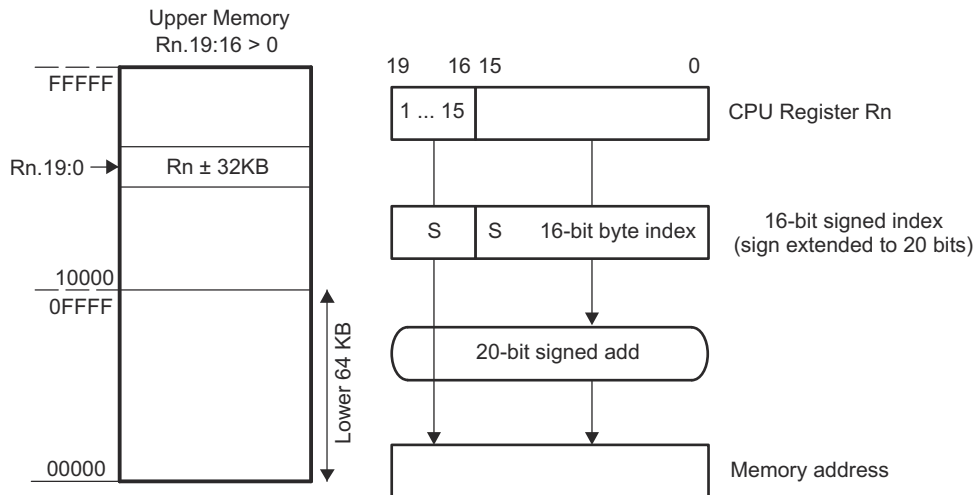


图 4-16. 上部存储器中的已索引模式

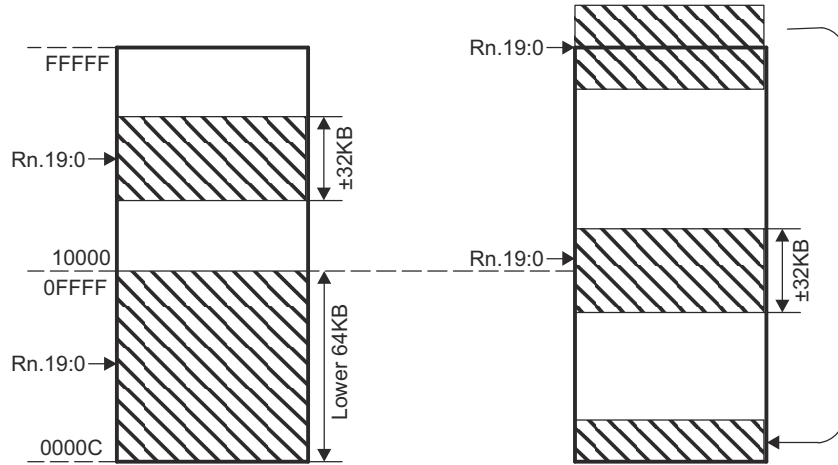
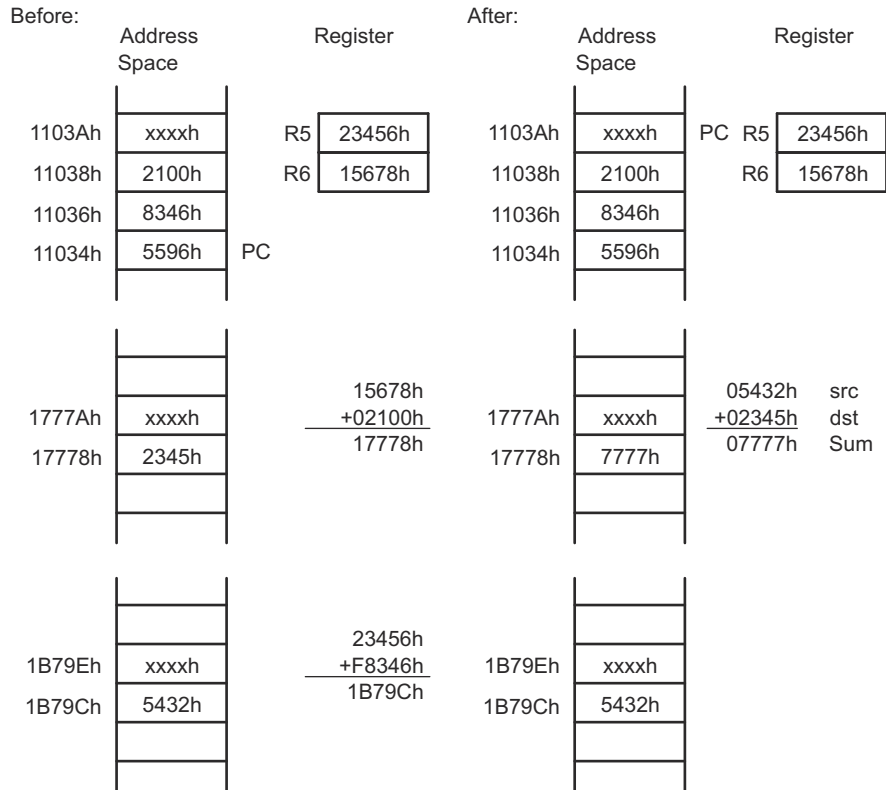


图 4-17. 针对已索引模式的上溢和下溢

- 长度：两个或者三个字
- 运行：指令之后，位于下一个字内的符号扩展 16 位索引被添加到 CPU 寄存器 Rn 的 20 个位内。这传送了一个 20 位地址，此地址指向范围 0 至 FFFFFh 内的一个地址。操作数是已寻址存储器位置的内容。
- 注释：对于源和目的有效。汇编程序计算寄存器索引并将其插入。
- 示例：`ADD.W 8346h (R5), 2100h (R6) ;`
 这条指令加上包含在源和目的地址中的 16 位数据并且将 16 位结果放置在目的地址内。源和目的操作数可在整个地址范围内被锁定。
- 源：R5 指向的字 + 8346h。负索引 8346h 为被扩展的符号，得到地址 23456h+F8346h=1B79Ch。
- 目标：R6 指向的字 + 2100h 得到地址 15678h+2100h=17778h。

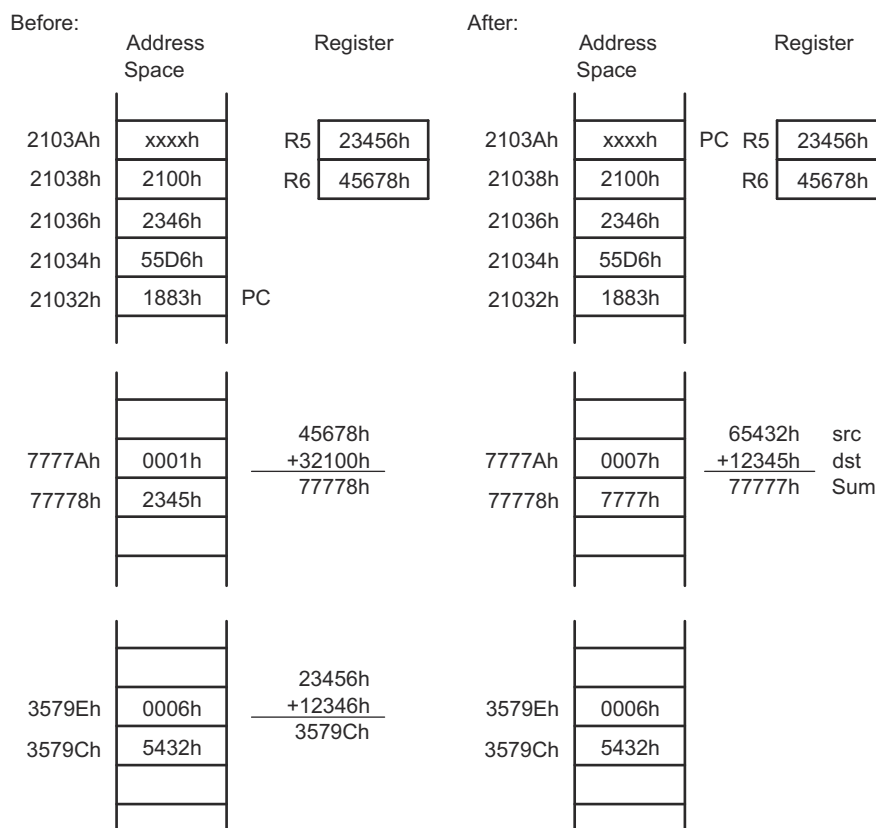


4.4.2.3 具有已索引模式的 MSP430 指令

当使用具有已索引模式的 MSP430X 指令时，操作数可位于 Rn 的范围 + 19 位的任一位置。

长度：	三个或者四个字
运行：	操作数地址是 20 位 CPU 寄存器内容和 20 位索引的和。索引的 4 个 MSB 包含在扩展字中；16 个 LSB 被包含在随后指令的字中。CPU 寄存器未修改
注释：	对于源和目的有效。汇编程序计算寄存器索引并将其插入。
示例：	ADDX.A 12346h(R5), 32100h(R6) ; 这条指令加上包含在源和目的地址中的 20 位数据并且将结果放置在目的地址内。
源：	R5 指向的两个字 + 12346h 得到地址 23456h+12346h=3579Ch。
目标：	R6 指向的两个字 + 32100h 得到地址 45678h+32100h=77778h。

扩展字包含源索引和目的索引的 MSB 以及针对 20 位数据的 A/L 位。由于位 A/L:B/W=01 时的 20 位数据长度，这个指令字使用字节模式。



4.4.3 符号模式

通过将符号化索引添加到 PC 中，符号模式计算操作数的地址。符号模式有三个寻址可能：

- 低 64KB 存储器中的符号模式
- 具有符号模式的 MSP430 指令在低 64KB 存储器之上的存储器内寻址
- 具有符号模式的 MSP430X 指令

4.4.3.1 低 64KB 中的符号模式

如果 PC 指向低 64KB 存储器范围中的一个地址，在增加了 PC 和符号化 16 位索引后，计算得出的存储器地址位 19:16 被清零。这意味着计算得出的地址一直位于低 64KB 存储器中，并且不会从低 64KB 存储器空间中上溢或者

下溢。RAM 和外设寄存器可用这个方法进行访问并且如图 4-18 所示，在无需修改的情况下现有的 MSP430 软件可用。

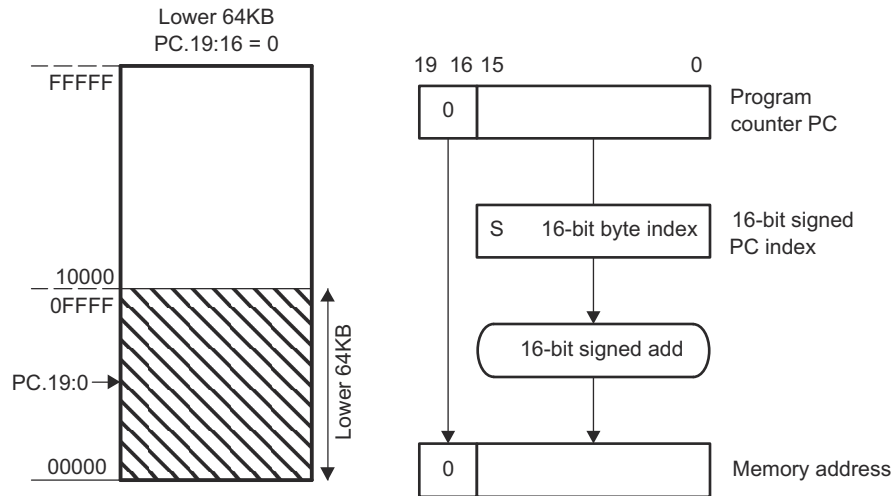
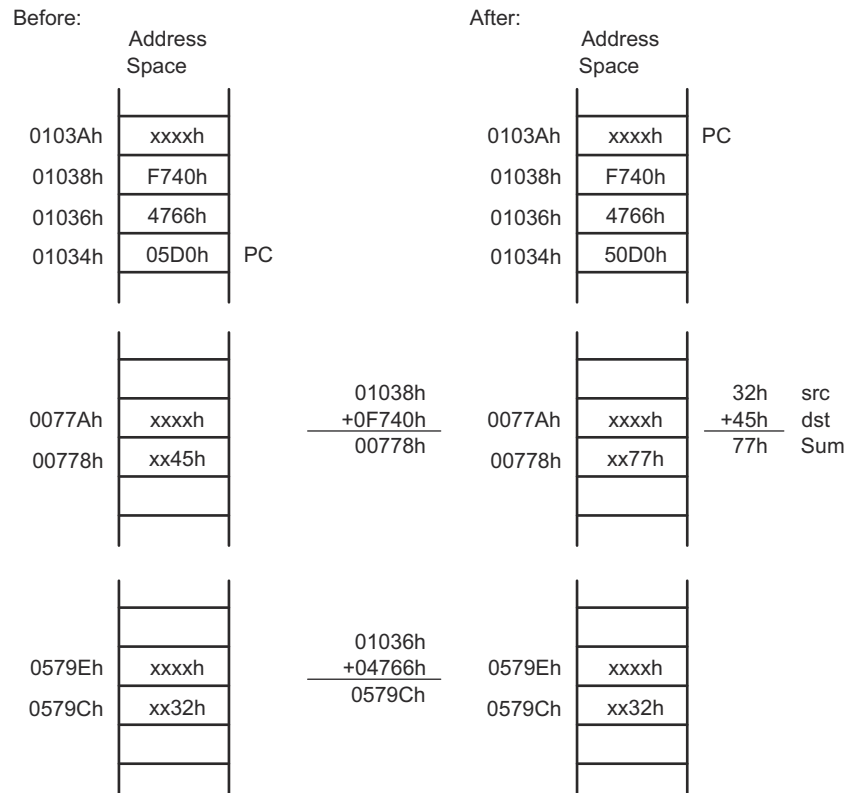


图 4-18. 低 64KB 中的符号模式运行那个

- 运行：指令之后下一个字中的符号化 16 位索引被暂时增加到 PC 中。得出的位 19:16 被清零，从而给出了一个缩短了的 16 位存储器地址，此地址指向范围 00000h 至 0FFFFh 内的一个操作数地址。操作数是已寻址存储器位置的内容。
- 长度：两个或者三个字
- 注释：对于源和目的有效。汇编程序计算奇 PC 索引并将其插入。
- 示例：`ADD.B EDE, TONI ;`
这个指令加上包含在源字节 EDE 和目的字节 TONI 中的 8 位数据并且将结果放置在目的字节 TONI 中。字节 EDE 和 TONI 以及程序位于低 64KB 内。
- 源：由 PC 指向的位于地址 0579Ch 的字节 EDE+4766h，其中 PC 索引 4766h 是 0579Ch-01036h=04766h 的结果。地址 01036h 是针对这个示例的索引的位置。
- 目标：由 PC 指向的位于地址 00778h 的字节 TONI+F470h，是 00778h-1038h=FF740h 的截短的 16 位结果。地址 01038h 是针对这个示例的索引的位置。



4.4.3.2 上部存储器中的具有符号模式的 MSP430 指令

如果 PC 指向一个低 64KB 存储器以上的地址，PC 位 19:16 被用于操作数的地址计算。操作数可位于范围 $PC \pm 32KB$ 内的存储器内，这是因为索引，X，是一个符号化 16 位的值。在这个情况下，如图 4-19 和图 4-20 所示，操作数的地址会在低 64KB 存储器中上溢或者下溢。

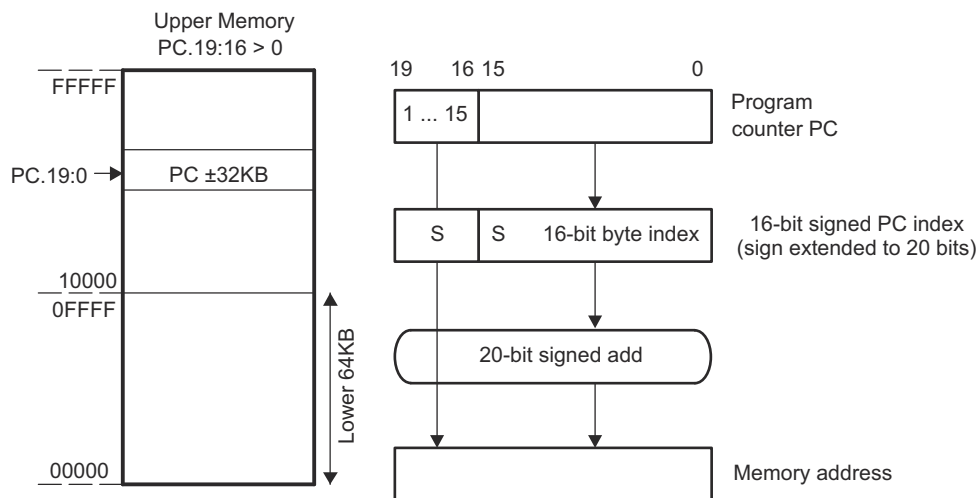


图 4-19. 上部存储器内的符号模式运行

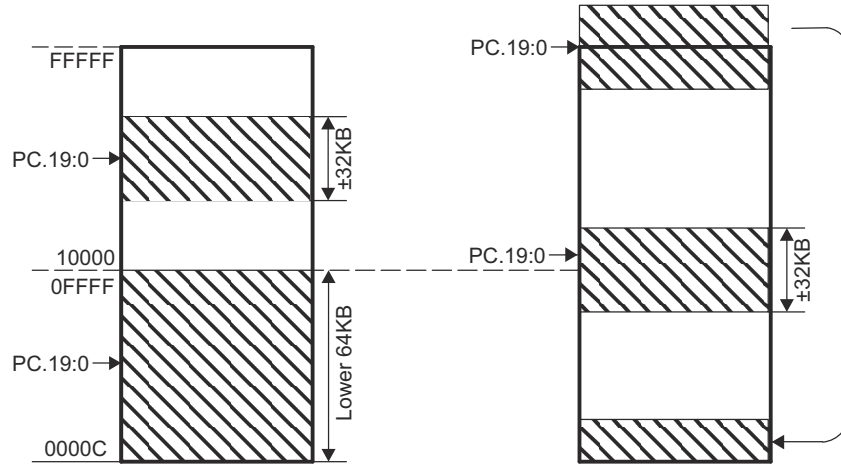


图 4-20. 针对符号模式的上溢和下溢

长度：两个或者三个字

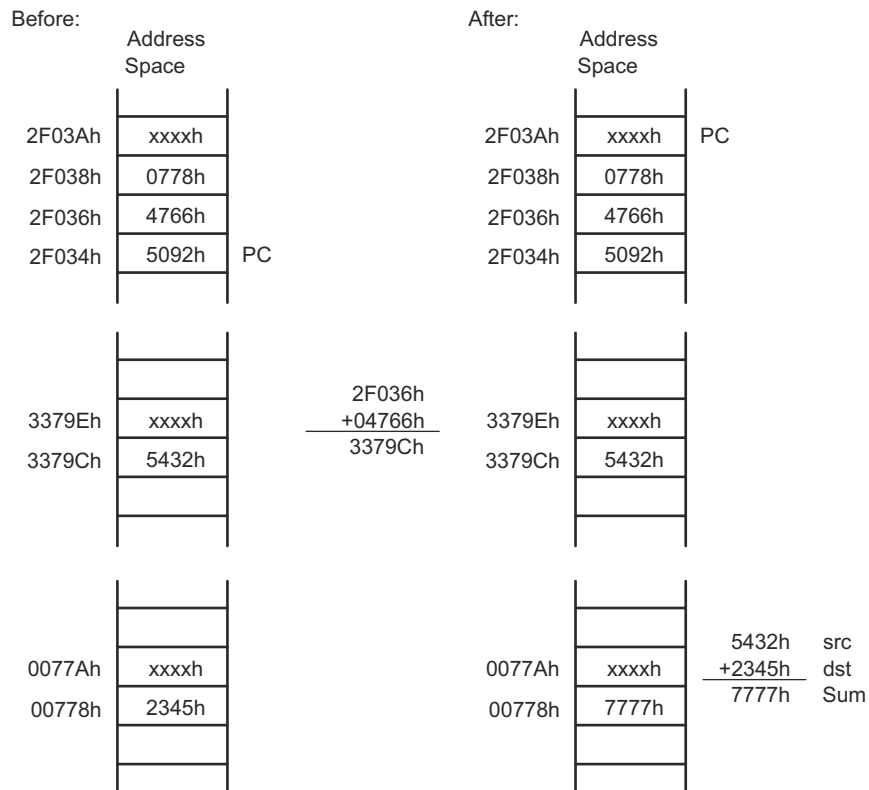
运行：指令之后，位于下一个字内的符号扩展 16 位索引被添加到 PC 的 20 个位内。这传送了一个 20 位地址，此地址指向范围 0 至 FFFFFh 内的一个地址。操作数是已寻址存储器位置的内容。

注释：对于源和目的有效。汇编程序计算 PC 索引并将其插入。

示例：`ADD.W EDE, &TONI ;`
 这个指令加上包含在源字 EDE 和目的字 TONI 中的 16 位数据并且将结果放置在目的字 TONI 中。对于此示例，此指令位于地址 2F034h 中。

源：由 PC 指向的位于地址 3379Ch 内的 EDE+4766h，是一个 3379Ch-2F036h=04766h 的 16 位结果。地址 2F036h 是针对这个示例的索引位置。

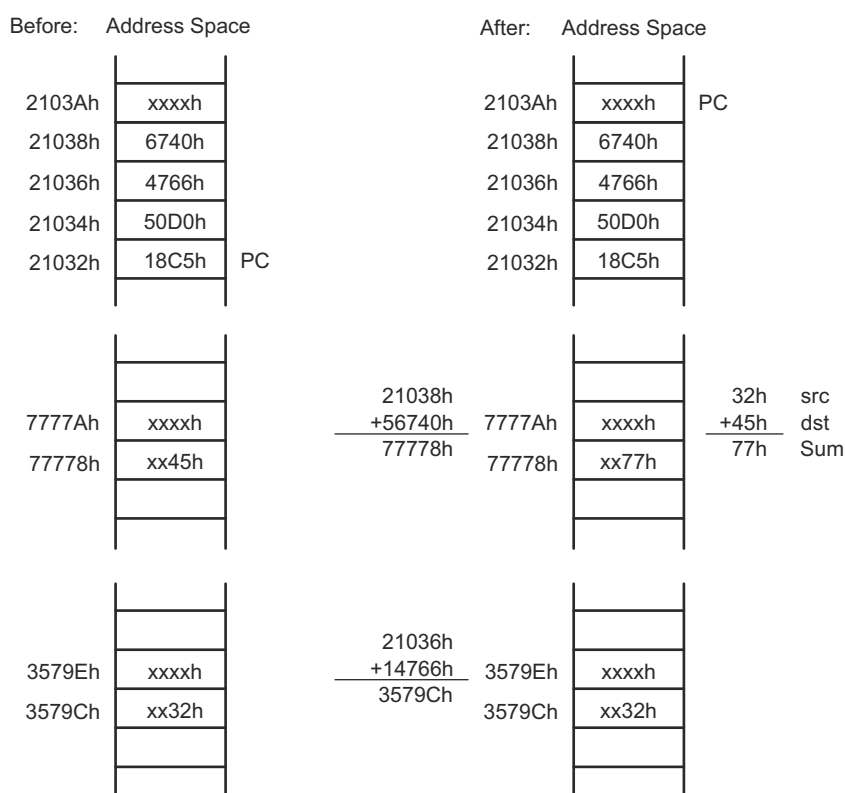
目标：字 TONI 位于由绝对字 00778h 指向的地址 00778h 内。



4.4.3.3 具有符号模式的 MSP430X 指令

当使用具有符号模式的 MSP430X 指令时，操作数可位于 Rn 的范围 + 19 位的任一位置。

长度：	三个或者四个字
运行：	操作数地址是 20 位 PC 和 20 位索引的和。索引的 4 个 MSB 包含在扩展字中；16 个 LSB 被包含在随后指令的字中。
注释：	对于源和目的有效。汇编程序计算寄存器索引并将其插入。
示例：	ADDX.B EDE, TONI ; 这个指令加上包含在源字节 EDE 和目的字节 TON 中的 8 位数据并且将结果放置在目的字节 TONI 中。
源：	由 PC 指向的位于地址 3579Ch 内的字节 EDE+14766h，是 3579Ch-21036h=14766h 的 20 位结果。地址 21036h 是针对这个示例的索引的位置。
目标：	由 PC 指向的位于地址 77778h 的字节 TONI+F470h，是 77778h- 21038h=FF 56740h 的截短的 20 位结果。地址 21038h 是这个示例中的索引的地址。



4.4.4 绝对模式

绝对模式使用指令之后的字的内容作为操作数的地址。绝对模式有两个各不同的可能：

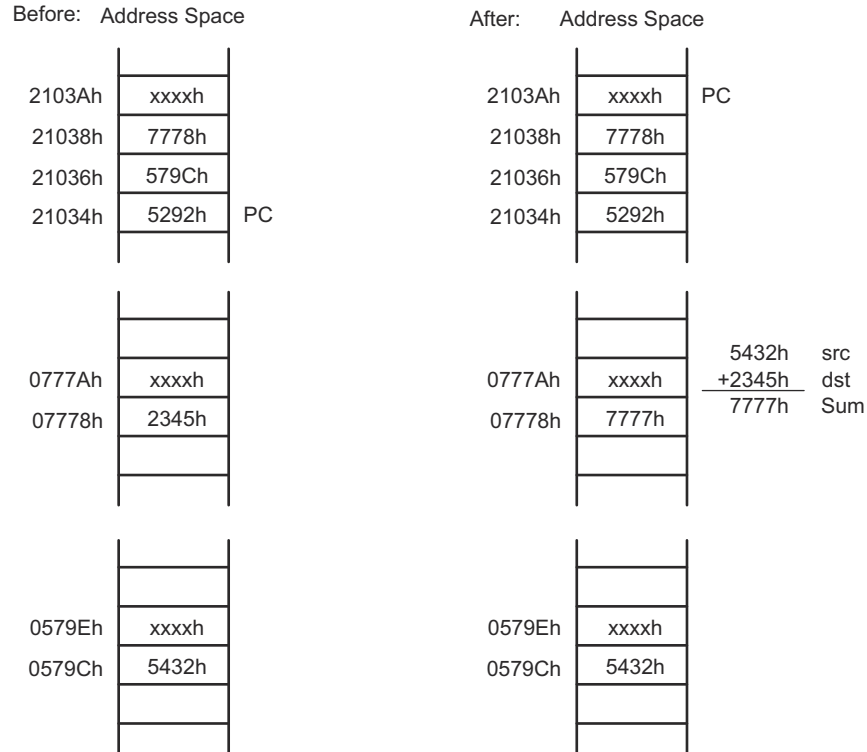
- 低 64KB 存储器中的绝对模式
- 具有绝对模式的 MSP430X 指令

4.4.4.1 低 64KB 中的绝对模式

如果 MSP430 指令在绝对寻址模式中使用，绝对地址是一个 16 位值并因此指向一个低 64KB 存储器范围的地址。此地址被计算为一个来自 0 的索引并且被存储在指令后的字中。RAM 和外设寄存器可用这种方式访问并且现有的 MSP430 软件在不许修改的情况下即可用。

长度：	两个或者三个字
运行：	操作数是已寻址存储器位置的内容。
注释：	对于源和目的有效。汇编程序从 0 开始计算索引并将其插入。

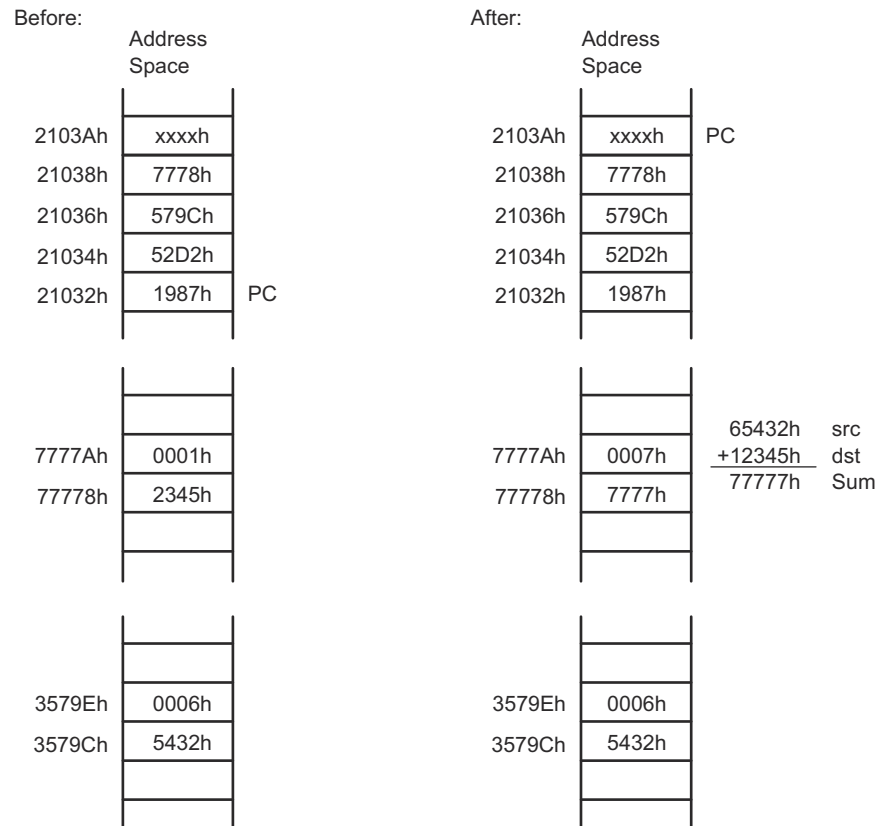
示例：`ADD.W &EDE, &TONI ;`
 这条指令加上包含在绝对源和目的地址中的 16 位数据并且将结果放置在目的地址内。
 源：地址 EDE 上的字
 目标：地址 TONI 上的字



4.4.4.2 具有绝对模式的 MSP430X 指令

如果用绝对寻址模式使用 MSP430X 指令，绝对地址是一个 20 位值，并因指向存储器范围内的任一地址。地址值按从 0 开始的索引计算。索引的 4 个 MSB 包含在扩展字中，并且 16 个 LSB 被包含在指令之后的字中。

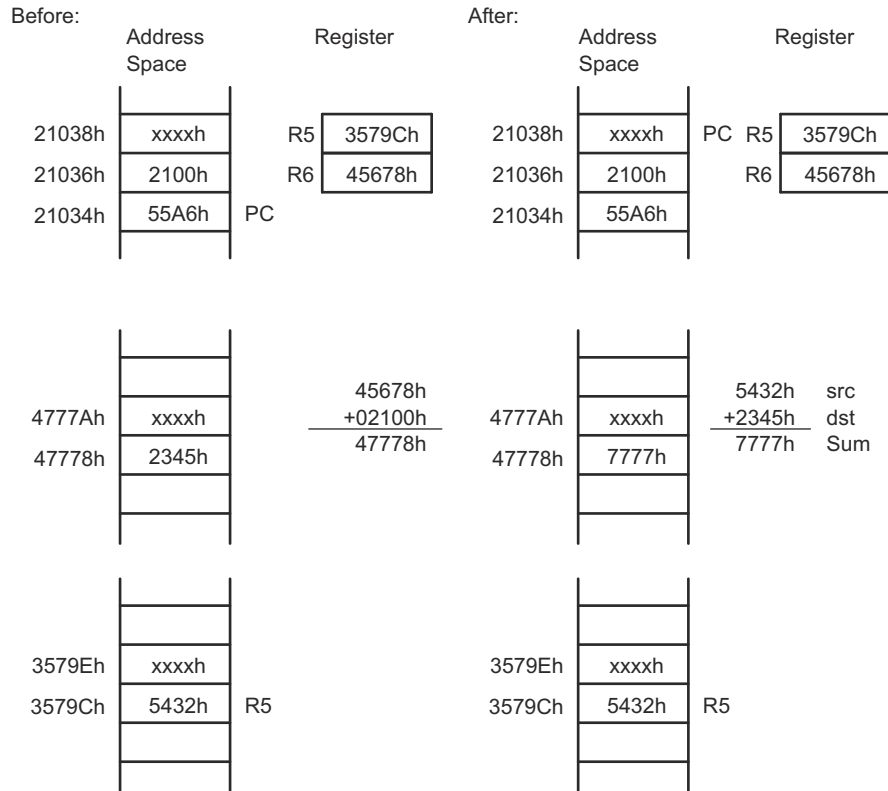
长度：三个或者四个字
 运行：操作数是已寻址存储器位置的内容。
 注释：对于源和目的有效。汇编程序从 0 开始计算索引并将其插入。
 示例：`ADDX.A &EDE, &TONI ;`
 这条指令加上包含在源和目的地址中的 20 位数据并且将结果放置在目的地址内。
 源：从地址 EDE 开始的两个字
 目的：从地址 TONI 开始的两个字



4.4.5 间接寄存器模式

此间接寄存器模式将 CPU 寄存器 Rsrc 用作源操作数。此间接寄存器模式一直使用一个 20 位地址。

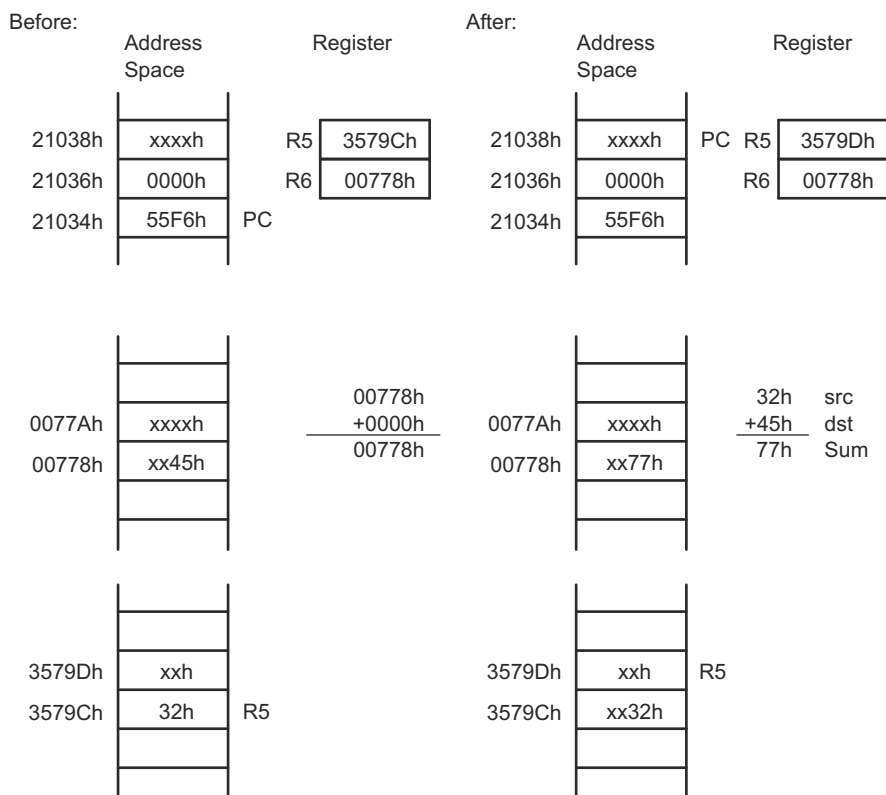
长度：	一个、两个、或者三个字
运行：	此操作数是已寻址地址位置的内容。源寄存器 Rsrc 未修改。
注释：	只对源操作数有效。目标操作数的替代值为 0 (Rdst)。
示例：	ADDX.W @R5, 2100h (R6) 这条指令加上包含在源和目的地址中的 16 位操作数数据并且将结果放置在目的地址内。
源：	R5 指向的字。R5 包含针对这个示例的地址 3579Ch。
目的：	R6 指向的字 + 2100h 得到地址 45678h+ 2100h=7778h。



4.4.6 间接自动递增模式

间接自动递增模式将 CPU 寄存器的内容用作源操作数。然后，访问源操作数之后，**Rsrc** 立即针对字节指令自动加 1，针对字指令自动加 2，针对地址字指令加 4。如果用于源和目的的寄存器是同一个寄存器，它包含针对目的地址的已增量地址。间接自动递增模式一直使用 20 位地址。

长度：	一个、两个、或者三个字
运行：	操作数是已寻址存储器位置的内容。
注释：	只针对源操作数有效
示例：	ADD.B @R5+,0(R6) 这条指令加上包含在源和目的地址中的 8 位数据并且将结果放置在目的地址内。
源：	R5 指向的字节在本示例中，R5 包含地址 3579Ch。
目的：	R6 指向的字节 + 0h，得到针对本示例的地址 0778h。



4.4.7 立即模式

通过在指令之后将常数包含在存储器位置内，立即模式可实现将常数作为操作数进行访问。PC 使用间接自动递增模式。PC 指向下一个字中包含的立即值。在取得立即操作数后，针对字节、字、或者地址-字指令，PC 增加 2。立即模式有两个寻址可能：

- MSP430 指令时的 8 位或 16 位常数
- MSP430X 指令时的 20 位常数

4.4.7.1 支持立即模式的 MSP430 指令

如果 MSP430 指令使用立即寻址模式，常数为一个 8 或 16 位的值，并且存储在指令后的字中。

长度：两个或者三个字。如果常数发生器的一个常数可被用于立即操作数，则少一个字。

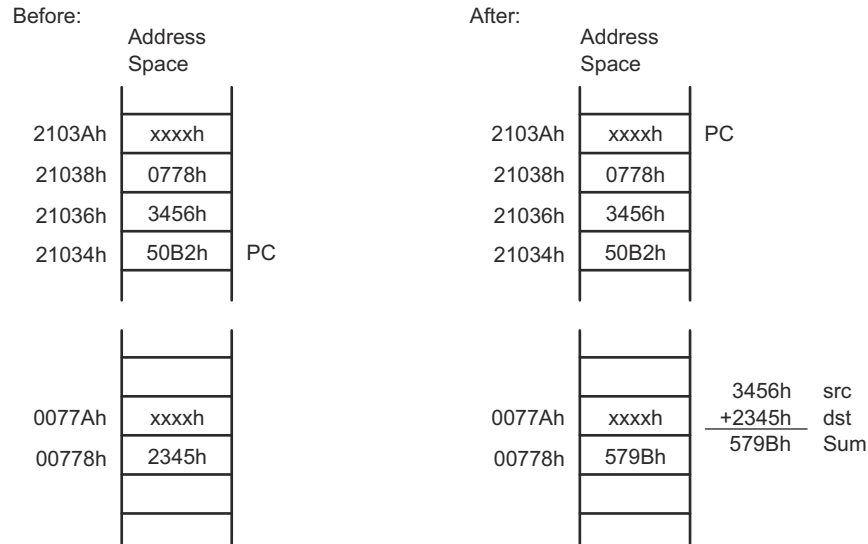
运行：16 位立即源操作数与 16 位目的操作数一起使用。

注释：只针对源操作数有效

示例：ADD #3456h, &TONI
这条指令将 16 位立即操作数 3456h 添加到目的地址 TONI 中的数据内。

源：16 位立即值 3456h

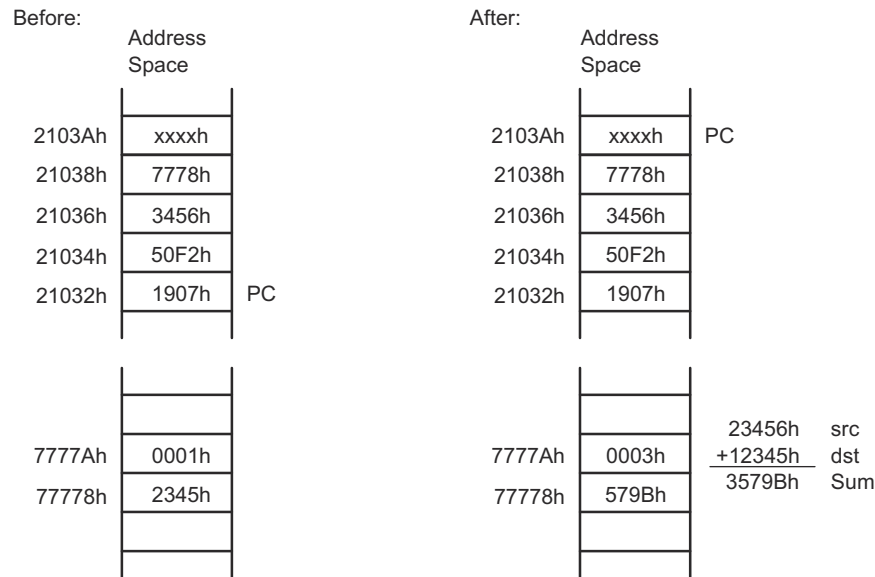
目的：地址 TONI 上的字



4.4.7.2 支持立即模式的MSP430X 指令

如果一个 MSP430X 指令与立即寻址模式一起使用，常数为一个 20 位的值。常数的 4 MSB 存储在扩展字中，而常数的 16 LSB 存储在指令后的字中。

- 长度：三个或者四个字。如果常数发生器的一个常数可被用于立即操作数，则少一个字。
- 运行：20 位立即源操作数与 20 位目的操作数一起使用。
- 注释：只针对源操作数有效
- 示例：ADDX.A #23456h, &TONI ;
这条指令将 20 位立即操作数 23456h 添加到目的地址 TONI 中的数据内。
- 源：20 位立即值 23456h
- 目的：从地址 TONI 开始的两个字



4.5 MSP430 和 MSP430X 指令

MSP430 指令是 MSP430 CPU 执行的 27 条指令。这些指令在 1MB 存储器范围内使用，除非超过了它们的 16 位能力。当操作数寻址，或者数据长度超过 MSP430 指令的 16 位能力时，MSP430X 指令被使用。

当在 MSP430 和 MSP430X 指令间进行选择时，有三个可能：

- 只使用 MSP430 指令-唯一的例外是 CALLA 和 RETA 指令。如果符合几个简单规则的话，可实现此目的：
 - 将所有常数、变量、数组、表格、和数据放置在低 64KB 空间内。这样可针对所有数据访问的 16 位寻址使用 MSP430 指令。无需具有 20 位地址的指针。
 - 将子例程常数紧接着子例程代码放置。这样可使用符号寻址模式，此模式的 16 位索引能够达到 PC + 32KB 范围内的地址。
- 只使用 MSP430X 指令-这个方法的劣势是由额外 CPU 周期而导致的速度降低以及由于任一双操作数指令的所需扩展字而导致的程序空间增加。
- 按照需要选择最合适的指令。

下面的指令列表描述了 MSP430 和 MSP430X 指令。

4.5.1 MSP430 指令

无论程序是驻留在低 64KB 还是 驻留在其之上的空间，都可使用 MSP430 指令。唯一的例外时是指令 CALL 和 RET，这两个指令被限制在低 64KB 地址范围。CALLA 和 RETA 已经被添加到 MSP430X CPU 中来处理整个地址范围内的子例程，而又无需代码尺寸开销。

4.5.1.1 MSP430 双操作数 (格式 I) 指令

图 4-21 显示了 MSP430 双操作数指令的格式。为索引、符号、绝对和立即模式附加了源字和目标字。表 4-4 列出了 12 个 MSP430 双操作数指令。

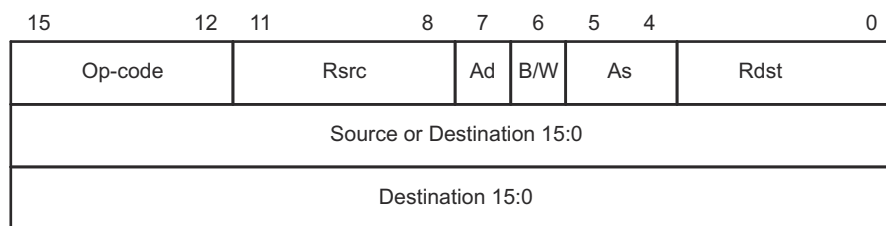


图 4-21. MSP430 双操作数指令格式

表 4-4. MSP430 双操作数指令

助记符	S-Reg , D-Reg	运行	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
MOV(.B)	src , dst	src→dst	-	-	-	-
ADD(.B)	src , dst	src+dst→dst	*	*	*	*
ADDC(.B)	src , dst	src+dst+C→dst	*	*	*	*
SUB(.B)	src , dst	dst+.not.src+1→dst	*	*	*	*
SUBC(.B)	src , dst	dst+.not.src+C→dst	*	*	*	*
CMP(.B)	src , dst	dst→src	*	*	*	*
DADD(.B)	src , dst	src+dst+C→dst (用十进制)	*	*	*	*
BIT(.B)	src , dst	src .and. dst	0	*	*	Z
BIC(.B)	src , dst	.not.src .and. dst → dst	-	-	-	-
BIS(.B)	src , dst	src .or. dst → dst	-	-	-	-
XOR(.B)	src , dst	src .xor. dst → dst	*	*	*	Z
AND(.B)	src , dst	src .and. dst → dst	0	*	*	Z

- (1) * = 状态位受到影响。
 - = 状态位不受影响。
 0 = 清除状态位。
 1 = 设置状态位。

4.5.1.2 MSP430 单操作数 (格式 II) 指令

图 4-22 显示了针对 MSP430 单操作数指令的格式，除 RETI 之外。为索引、符号、绝对和立即模式附加了目标字。表 4-5 列出了七条单操作数指令。

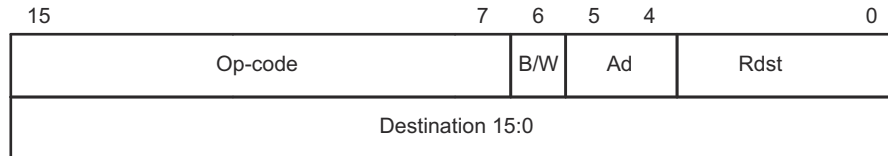


图 4-22. MSP430 单操作数指令

表 4-5. MSP430 单操作数指令

助记符	S-Reg , D-Reg	运行	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
RRC(.B)	dst	C → MSB →LSB → C	*	*	*	*
RRA(.B)	dst	MSB → MSB → ...LSB → C	0	*	*	*
PUSH(.B)	src	SP - 2 → SP、src → SP	-	-	-	-
SWPB	dst	位 15...位 8 ↔ 位 7...位 0	-	-	-	-
CALL	dst	在低 64KB 中调用子例程	-	-	-	-
RETI		TOS→SR , SP+2→SP	*	*	*	*
		TOS→PC , SP+2→SP				
SXT	dst	寄存器模式 : 位 7 → 位 8...位 19 其他模式 : 位 7 → 位 8...位 15	0	*	*	Z

- (1) * = 状态位受到影响。
 - = 状态位不受影响。
 0 = 清除状态位。
 1 = 设置状态位。

4.5.1.3 跳转指令

图 4-23 显示了 MSP430 和 MSP430X 跳转指令的格式。跳转指令的带符号 10 位字偏移乘以 2，符号扩展至一个 20 位地址，并加至 20 位 PC。这可实现相对于完全 20 位地址空间内的 PC 的 -512 至 +512 字范围内的跳转。跳转不影响状态位。表 4-6 列出并描述了八个跳转指令。

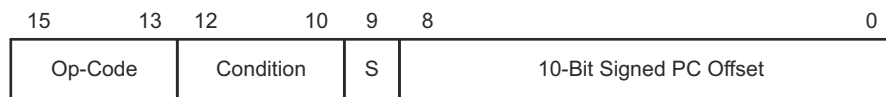


图 4-23. 条件跳转指令的格式

表 4-6. 条件跳转指令

助记符	S-Reg , D-Reg	运行
JEQ/JZ	标签	如果零位被置 1，则跳转至标签
JNE/JNZ	标签	如果零位被复位则跳转至标签
JC	标签	如果进位位被置 1，则跳转至标签
JNC	标签	如果进位位被复位则跳转至标签
JN	标签	如果负位被置 1，则跳转至标签
JGE	标签	如果 (N .XOR.V)=0，则跳转至标签
JL	标签	如果 (N .XOR.V)=1，则跳转至标签
JMP	标签	无条件跳转至标签

4.5.1.4 仿真指令

除了 MSP430 和 MSP430X 指令，仿真指令是使代码更容易进行写入和读取，但是本身不具有运算代码的指令。作为替代，它们自动被具有一个核心指令的汇编程序所取代。使用仿真指令并不会产生代码或者性能损失。表 4-7 中列出了仿真指令。

表 4-7. 仿真指令

指令	说明	仿真	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
ADC (.B) dst	将进位增加至 dst	ADDC (.B) #0, dst	*	*	*	*
BR dst	分支指令间接 dst	MOV dst, PC	-	-	-	-
CLR (.B) dst	清零 dst	MOV (.B) #0, dst	-	-	-	-
CLRC	清零进位位	BIC #1, SR	-	-	-	0
CLRn	清零负位	BIC #4, SR	-	0	-	-
CLRZ	清零零位	BIC #2, SR	-	-	0	-
DADC (.B) dst	用十进制将进位增加至 dst	DADD (.B) #0, dst	*	*	*	*
DEC (.B) dst	dst 减 1	SUB (.B) #1, dst	*	*	*	*
DECD (.B) dst	dst 减 2	SUB (.B) #2, dst	*	*	*	*
DINT	禁用中断	BIC #8, SR	-	-	-	-
EINT	启用中断	BIS #8, SR	-	-	-	-
INC (.B) dst	dst 增 1	ADD (.B) #1, dst	*	*	*	*
INCD (.B) dst	dst 增 2	ADD (.B) #2, dst	*	*	*	*
INV (.B) dst	反转 dst	XOR (.B) #-1, dst	*	*	*	*
NOP	无操作	MOV R3, R3	-	-	-	-
POP dst	从堆栈中弹出操作数	MOV @SP+, dst	-	-	-	-
RET	从子例程返回	MOV @SP+, PC	-	-	-	-
RLA (.B) dst	算术左移 dst	ADD (.B) dst, dst	*	*	*	*

表 4-7. 仿真指令 (continued)

指令	说明	仿真	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
RLC (.B) dst	通过进位逻辑左移 dst	ADDC (.B) dst, dst	*	*	*	*
SBC (.B) dst	从 dst 中减去进位	SUBC (.B) #0, dst	*	*	*	*
SETC	将进位位置 1	BIS #1, SR	-	-	-	1
SETN	将负位置 1	BIS #4, SR	-	1	-	-
SETZ	将零位置 1	BIS #2, SR	-	-	1	-
TST (.B) dst	测试 dst (与 0 相比较)	CMP (.B) #0, dst	0	*	*	1

(1) * = 状态位受到影响；- = 状态位不受影响；0 = 清除状态位；1 = 设置状态位。

4.5.1.5 MSP430 指令执行

一个指令所需的 CPU 时钟周期的数量取决于指令格式和使用的寻址模式-而不是指令本身。参考 MCLK 的时钟周期数量。

4.5.1.5.1 针对中断、复位、和子例程的指令周期和长度

表 4-8 列出了针对复位、中断、和子例程的长度和 CPU 周期

表 4-8. 中断、返回、和复位周期以及长度

操作	执行时间 (MCLK 周期数)	指令长度 (字数)
从中断返回 RETI	3 ⁽¹⁾	1
从子例程 RET 返回	3	1
中断请求处理 (第一个指令前需要的周期)	5 ⁽²⁾	-
WDT 复位	4	-
复位 (RST/NMI)	4	-

- (1) MSP430 CPU 中的周期数量为 5。
(2) MSP430 CPU 中的周期数量为 6。

4.5.1.5.2 格式 II (单操作数) 指令周期和长度

表 4-9 列出了针对 MSP430 单操作数指令的所有寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 4-9. MSP430 格式 II 指令周期和长度

寻址模式	周期数			指令的长度	示例
	RRA、RRC SWPB、SXT	PUSH	CALL		
Rn	1	3	3 ⁽¹⁾	1	SWPB R5
@Rn	3	3 ⁽¹⁾	4	1	RRC @R9
@Rn+	3	3 ⁽¹⁾	4 ⁽²⁾	1	SWPB @R10+
#N	不可用	3 ⁽¹⁾	4 ⁽²⁾	2	CALL #LABEL
X(Rn)	4	4 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾	2	CALL 2 (R7)
EDE	4	4 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾	2	PUSH EDE
&EDE	4	4 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾	2	SXT &EDE

- (1) MSP430 CPU 中的周期数量为 4。
(2) MSP430 CPU 中的周期数量为 5。此外，当 Rn=SP 时，X(Rn) 寻址模式的周期数量为 5。

4.5.1.5.3 跳转指令周期和长度

所有跳转指令要求一个代码字并且花费两个 CPU 周期来执行，无论跳转是否发生。

4.5.1.5.4 格式 I (双操作数) 指令周期和长度

表 4-10 列出了所有针对 MSP430 格式 I 指令寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 4-10. MSP430 格式 I 指令周期和长度

寻址模式		周期数	指令的长度	示例
Src	Dst			
Rn	Rm	1	1	MOV R5, R8
	PC	2	1	BR R9
	x(Rm)	4 ⁽¹⁾	2	ADD R5, 4(R6)
	EDE	4 ⁽¹⁾	2	XOR R8, EDE
	&EDE	4 ⁽¹⁾	2	MOV R5, &EDE
@Rn	Rm	2	1	和 @R4, R5
	PC	3	1	BR @R8
	x(Rm)	5 ⁽¹⁾	2	XOR @R5, 8(R6)
	EDE	5 ⁽¹⁾	2	MOV @R5, EDE
	&EDE	5 ⁽¹⁾	2	XOR @R5, &EDE
@Rn+	Rm	2	1	ADD @R5+, R6
	PC	3	1	BR @R9+
	x(Rm)	5 ⁽¹⁾	2	XOR @R5, 8(R6)
	EDE	5 ⁽¹⁾	2	MOV @R9+, EDE
	&EDE	5 ⁽¹⁾	2	MOV @R9+, &EDE
#N	Rm	2	2	MOV #20, R9
	PC	3	2	BR #2AEh
	x(Rm)	5 ⁽¹⁾	3	MOV #0300h, 0(SP)
	EDE	5 ⁽¹⁾	3	ADD #33, EDE
	&EDE	5 ⁽¹⁾	3	ADD #33, &EDE
x(Rn)	Rm	3	2	MOV 2(R5), R7
	PC	3	2	BR 2(R6)
	TONI	6 ⁽¹⁾	3	MOV 4(R7), TONI
	x(Rm)	6 ⁽¹⁾	3	ADD 4(R4), 6(R9)
	&TONI	6 ⁽¹⁾	3	MOV 2(R4), &TONI
EDE	Rm	3	2	AND EDE, R6
	PC	3	2	BR EDE
	TONI	6 ⁽¹⁾	3	CMP EDE, TONI
	x(Rm)	6 ⁽¹⁾	3	MOV EDE, 0(SP)
	&TONI	6 ⁽¹⁾	3	MOV EDE, &TONI
&EDE	Rm	3	2	MOV &EDE, R8
	PC	3	2	BR &EDE
	TONI	6 ⁽¹⁾	3	MOV &EDE, TONI
	x(Rm)	6 ⁽¹⁾	3	MOV &EDE, 0(SP)
	&TONI	6 ⁽¹⁾	3	MOV &EDE, &TONI

(1) MOV, BIT, 和 CMP 指令在少一个周期内执行。

4.5.2 MSP430 扩展指令

扩展 MSP430X 指令使得 MSP430X CPU 可完全访问其 20 位地址范围。大多数 MSP430X 指令要求一个被称为扩展字的运算代码的附加字。一些扩展指令无需附加字并且未在指令说明中注明。当前面为扩展字时，所有地址、索引、和立即数有 20 位的值。

有两种类型的扩展字：

- 针对格式 I 指令的寄存器/寄存器模式和针对格式 II 的寄存器模式。
- 针对所有其它地址模式组合的扩展字

4.5.2.1 寄存器模式扩展字

此寄存器模式扩展字显示在图 4-24 中并在表 4-11 中进行了说明。图 4-26 显示了一个示例。

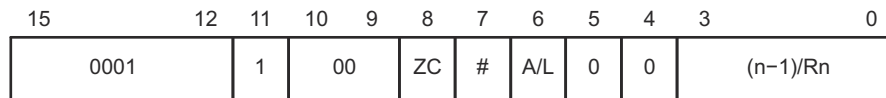


图 4-24. 针对寄存器模式的扩展字

表 4-11. 针对寄存器模式的扩展字的说明

位	说明		
15:11	扩展字运算代码。运算代码 1800h 至 1FFFh 为扩展字。		
10:9	保留		
ZC	零进位		
	0	被执行的指令使用进位位 C 的状态。	
	1	执行的指令使用进位位为 0。指令执行后，进位位由最终运算的结果定义。	
#	重复		
	0	指令重复的次数由扩展字位 3:0 置 1。	
	1	指令重复的次数由 Rn 的四个 LSB 的值定义。位 3:0 请见说明。	
A/L	数据长度扩展。与下面的 MSP430 指令的 B/W 位一起，AL 位定义了指令所使用的数据长度。		
	A/L	B/W	注释
	0	0	保留
	0	1	20 位地址字
	1	0 Ω	16 位字
	1	1	8 位字节
5:4	保留		
3:0	重复数量		
	# = 0	这四个位设置重复计数 n。这些位包含 n - 1。	
	# = 1	这四个位定义了 CPU 寄存器，此寄存器的位 3:0 设置重复的数量。Rn 3:0 包含 n-1。	

4.5.2.2 非寄存器模式扩展位

针对非寄存器模式的扩展字显示在图 4-25 中并在表 4-12 中进行了说明。图 4-27 显示了一个示例。

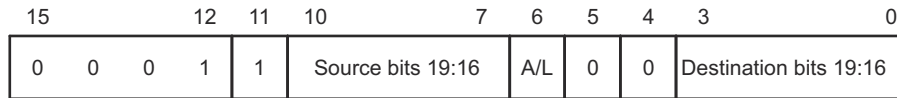


图 4-25. 针对非寄存器模式的扩展位

表 4-12. 针对非寄存器模式的扩展字的说明

位	说明
15:11	扩展字运算代码。运算代码 1800h 至 1FFFh 是扩展字。
源位 19:16	20 位源的四个 MSB。根据源寻址模式，这四个 MSB 有可能属于一个立即操作数，一个索引或者一个绝对地址。
A/L	数据长度扩展。与下面的 MSP430 指令的 B/W 位一起，AL 位定义了指令所使用的的数据长度。
	A/L B/W 注释
	0 0 保留
	0 1 20 位地址字
1 0 Ω 16 位字	
1 1 8 位字节	
5:4	保留
目的位 19:16	20 位目的四个 MSB。根据目的寻址模式，这四个 MSB 有可能属于一个索引或者一个绝对地址。

备注

SWPBX 和 SXTX 的 B/W 和 A/L 位设置

A/L	B/W	
0	0	SWPBX.A, SXTX.A
0	1	不适用
1	0 Ω	SWPB.W, SXTX.W
1	1	不适用

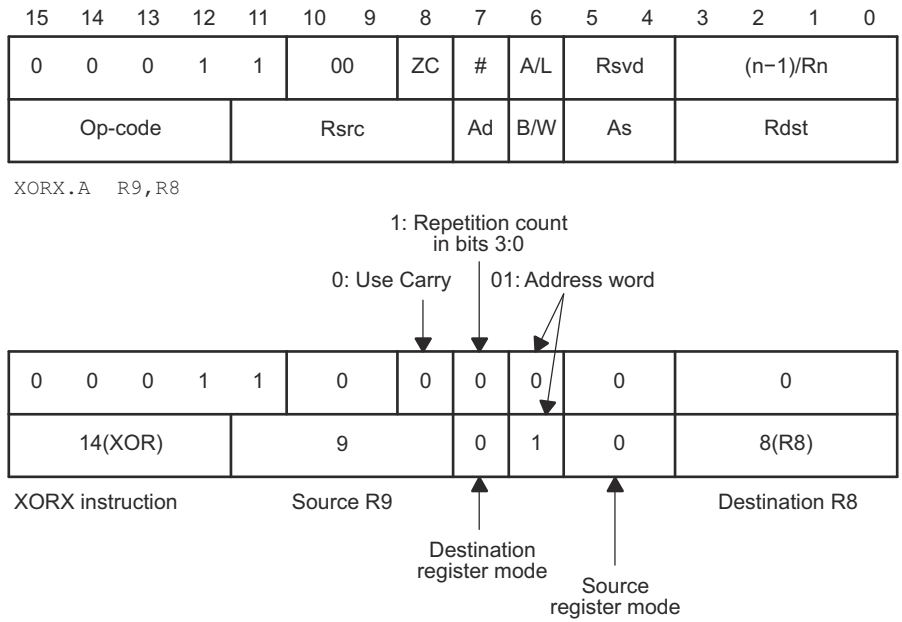


图 4-26. 针对扩展寄存器/寄存器指令的示例

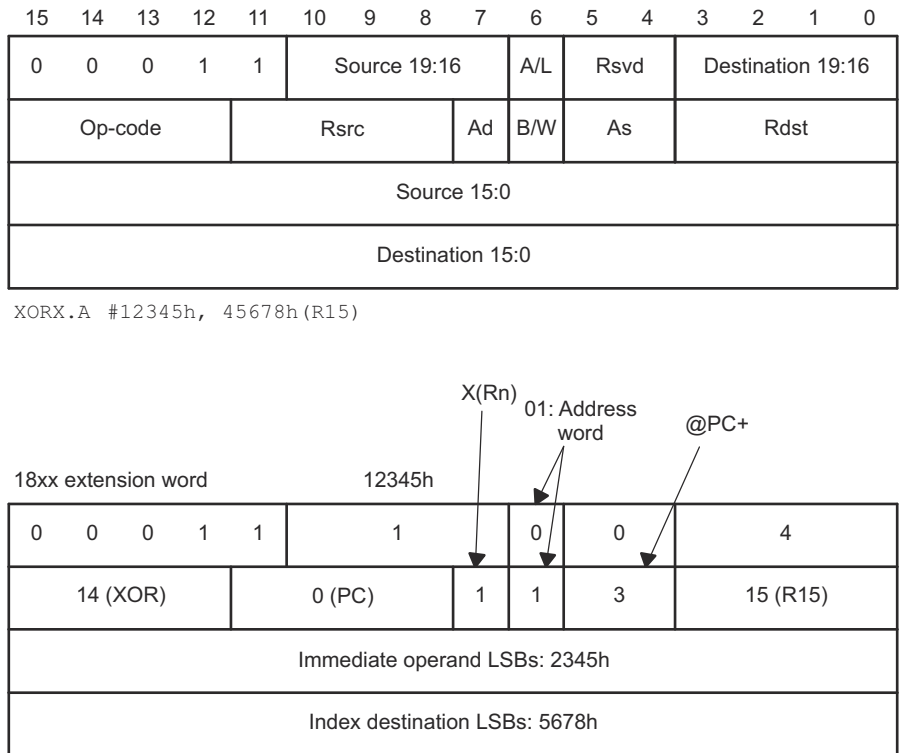


图 4-27. 针对扩展立即/已索引指令的示例

4.5.2.3 扩展双操作数 (格式 I) 指令

所有 12 个双操作数指令具有如表 4-13 所列的扩展版本。

表 4-13. 扩展双操作数指令

助记符	操作数	运行	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
MOVX (.B, .A)	src, dst	src→dst	-	-	-	-
ADDX (.B, .A)	src, dst	src+dst→dst	*	*	*	*
ADDCX (.B, .A)	src, dst	src+dst+C→dst	*	*	*	*
SUBX (.B, .A)	src, dst	dst+.not.src+1→dst	*	*	*	*
SUBCX (.B, .A)	src, dst	dst+.not.src+C→dst	*	*	*	*
CMPX (.B, .A)	src, dst	dst-src	*	*	*	*
DADDX (.B, .A)	src, dst	src + dst + C → dst (十进制)	*	*	*	*
BITX (.B, .A)	src, dst	src .and. dst	0	*	*	Z
BICX (.B, .A)	src, dst	.not.src .and. dst → dst	-	-	-	-
BISX (.B, .A)	src, dst	src .or. dst → dst	-	-	-	-
XORX (.B, .A)	src, dst	src .xor. dst → dst	*	*	*	Z
ANDX (.B, .A)	src, dst	src .and. dst → dst	0	*	*	Z

- (1) * = 状态位受到影响。
 - = 状态位不受影响。
 0 = 清除状态位。
 1 = 设置状态位。

针对格式 I 指令扩展字的四个可能的寻址组合显示在图 4-28 中。

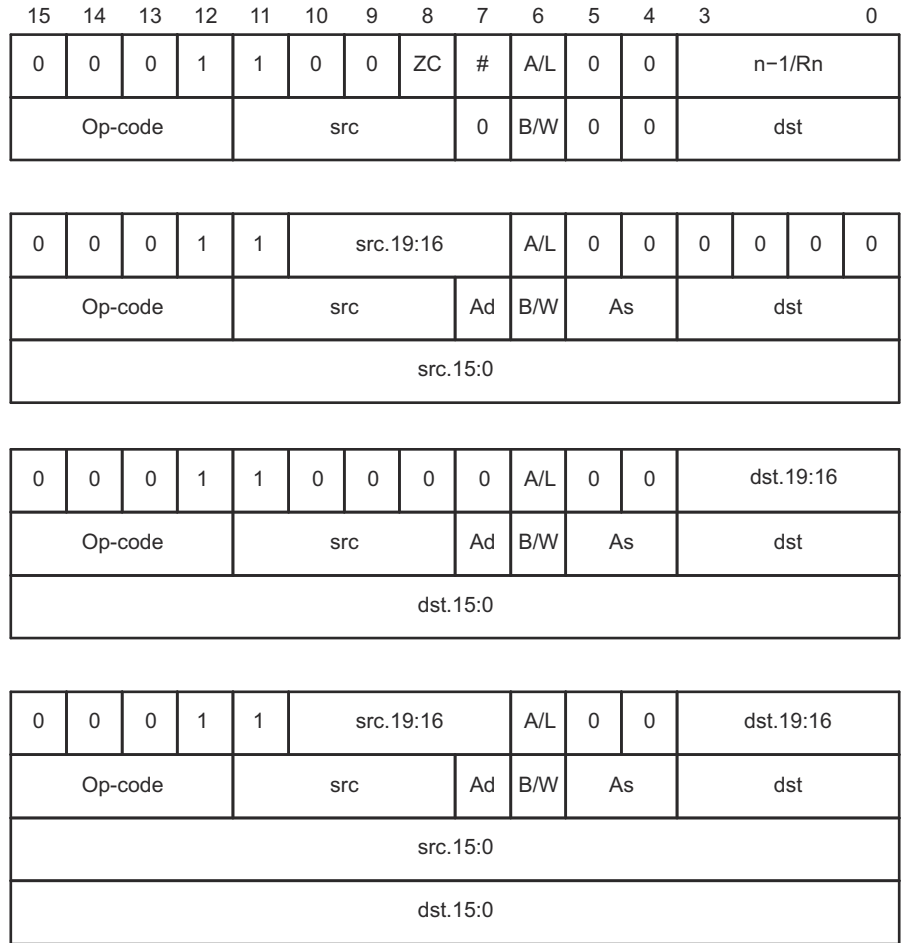


图 4-28. 扩展格式 I 指令格式

如果一个源或者目的操作数的 20 位地址被锁定在存储器中，而非一个 CPU 寄存器中，那么用于这个操作数的两个字显示在图 4-29 中。

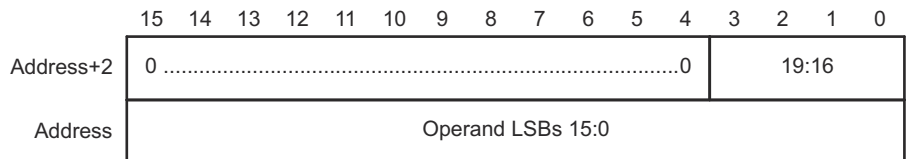


图 4-29. 存储器中的 20 位地址

4.5.2.4 扩展单操作数 (格式 II) 指令

表 4-14 中列出了扩展 MSP430X 格式 II 指令。

表 4-14. 扩展单操作数指令

助记符	操作数	运行	状态位 ⁽¹⁾				
			n	V	N	Z	C
CALLA	dst	间接调用子例程 (20 位地址)		-	-	-	-
POPM.A	#n, Rdst	从堆栈弹出 n 个 20 位寄存器	1 至 16	-	-	-	-
POPM.W	#n, Rdst	从堆栈弹出 n 个 16 位寄存器	1 至 16	-	-	-	-
PUSHM.A	#n, Rsrc	将 n 个 20 位寄存器压入堆栈	1 至 16	-	-	-	-
PUSHM.W	#n, Rsrc	将 n 个 16 位寄存器压入堆栈	1 至 16	-	-	-	-
PUSHX(.B.,A)	src	将 8/16/20 位源压入堆栈		-	-	-	-
RRCM(.A)	#n, Rdst	通过进位将 Rdst 右旋 n 位 (16/20 位寄存器)	1 至 4	0	*	*	*
RRUM(.A)	#n, Rdst	将 Rdst 右旋 n 个无符号位 (16/20 位寄存器)	1 至 4	0	*	*	*
RRAM(.A)	#n, Rdst	将 Rdst 算术右旋 n 个位 (16/20 位寄存器)	1 至 4	*	*	*	*
RLAM(.A)	#n, Rdst	将 Rdst 算术左旋 n 个位 (16/20 位寄存器)	1 至 4	*	*	*	*
RRCX(.B.,A)	dst	通过进位右旋 dst (8/16/20 位数据)	1	0 Ω	*	*	*
RRUX(.B.,A)	Rdst	右旋 dst 无符号位 (8/16/20 位)	1	0 Ω	*	*	*
RRAX(.B.,A)	dst	算术右旋 dst	1	*	*	*	*
SWPBX(.A)	dst	用高字节交换低字节	1	-	-	-	-
SXTX(.A)	Rdst	位 7 → 位 8 ... 位 19	1	0 Ω	*	*	*
SXTX(.A)	dst	位 7 → 位 8 ...MSB	1	0 Ω	*	*	*

- (1) * = 状态位受到影响。
 - = 状态位不受影响。
 0 = 清除状态位。
 1 = 设置状态位。

针对格式 II 指令的三个可能寻址模式组合显示在图 4-30 中。

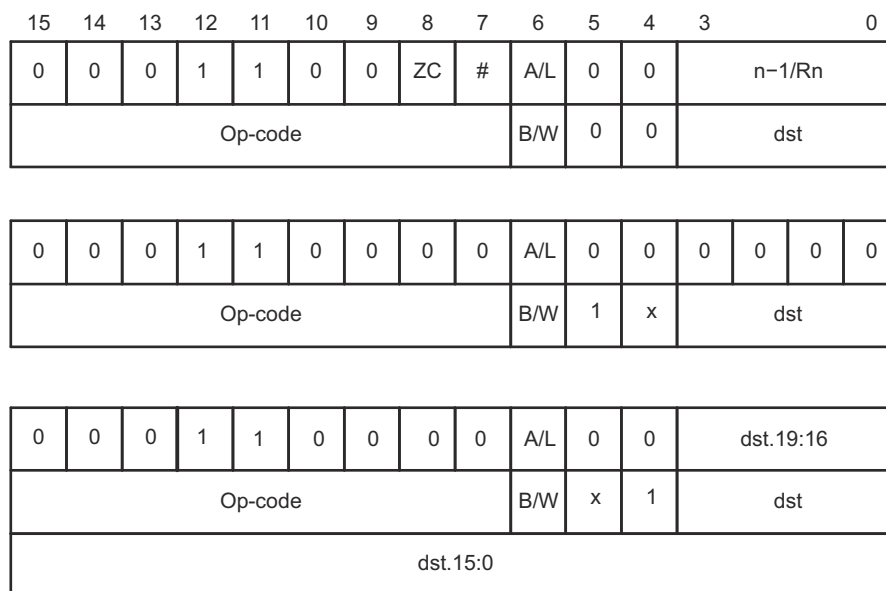


图 4-30. 扩展格式 II 指令格式

4.5.2.4.1 扩展格式 II 指令格式除外

针对格式 II 指令格式的例外显示在图 4-31 至图 4-34 中。

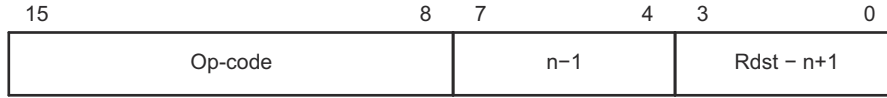


图 4-31. PUSHM/POPM 指令格式

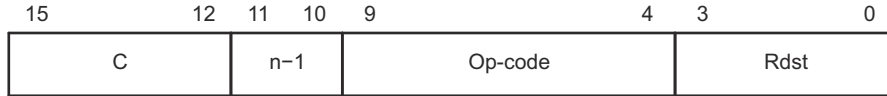


图 4-32. RRCM , RRAM , RRUM 和 RLAM 指令格式

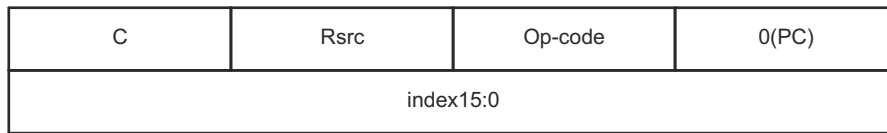
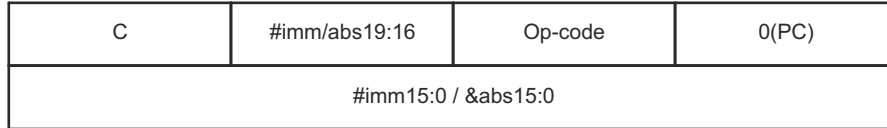
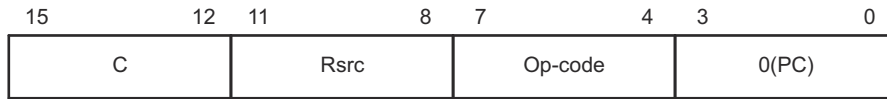


图 4-33. BRA 指令格式

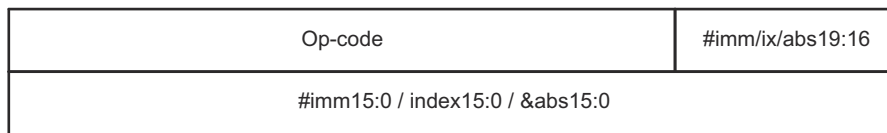
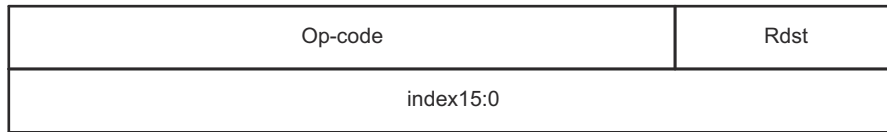
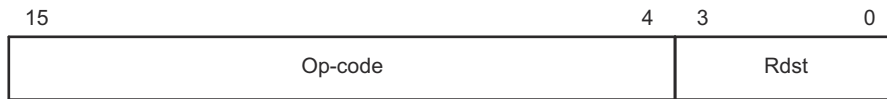


图 4-34. CALLA 指令格式

4.5.2.5 扩展仿真指令

扩展指令与常数发生器一同构成扩展仿真指令。表 4-15 列出了仿真指令。

表 4-15. 扩展仿真指令

指令	说明	仿真
ADCX(.B, .A) dst	将进位增加到 dst	ADDCX(.B, .A) #0, dst
BRA dst	分支指令 dst	MOVA dst, PC
RETA	从子例程返回	MOVA @SP+, PC
CLRA Rdst	清零 Rdst	MOV #0, Rdst
CLR(.B, .A) dst	清零 dst	MOVX(.B, .A) #0, dst
DADCX(.B, .A) dst	用十进制为 dst 增加进位	DADDX(.B, .A) #0, dst
DECX(.B, .A) dst	dst 减 1	SUBX(.B, .A) #1, dst
DECDA Rdst	Rdst 减 2	SUBA #2, Rdst
DECDX(.B, .A) dst	dst 减 2	SUBX(.B, .A) #2, dst
INCX(.B, .A) dst	dst 增 1	ADDX(.B, .A) #1, dst
INCDA Rdst	Rdst 增 2	ADDA #2, Rdst
INCDX(.B, .A) dst	dst 增 2	ADDX(.B, .A) #2, dst
INVX(.B, .A) dst	反转 dst	XORX(.B, .A) #-1, dst
RLAX(.B, .A) dst	算术左移 dst	ADDX(.B, .A) dst, dst
RLCX(.B, .A) dst	通过进位逻辑移位左侧 dst	ADDCX(.B, .A) dst, dst
SBCX(.B, .A) dst	从 dst 减去进位	SUBCX(.B, .A) #0, dst
TSTA Rdst	测试 Rdst (与 0 相比较)	CMPA #0, Rdst
TSTX(.B, .A) dst	测试 dst (与 0 相比较)	CMPX(.B, .A) #0, dst
POPX dst	弹出到 dst	MOVX(.B, .A) @SP+, dst

4.5.2.6 MSP430X 寻址指令

MSP430X 寻址指令支持 20 位操作数，但是具有受限的寻址模式。寻址模式限制为寄存器模式和立即模式，除了表 4-16 中列出的 MOVA 指令。对寻址模式的限制免除了对于额外扩展字运算代码的需要，从而改进了代码密度和执行时间。只要需要具有相应受限寻址模式的 MSP430X 指令，就应该使用寻址指令。

表 4-16. 寻址指令，在 20 位寄存器数据上运行

助记符	操作数	运行	状态位 ⁽¹⁾			
			V	N	Z	C
ADDA	Rsrc, Rdst	将源添加到目的寄存器	*	*	*	*
	#imm20, Rdst					
MOVA	Rsrc, Rdst	将源移动到目的				
	#imm20, Rdst					
	z16(Rsrc), Rdst					
	EDE, Rdst					
	&abs20, Rdst		-	-	-	-
	@Rsrc, Rdst					
	@Rsrc+, Rdst					
	Rsrc, z16(Rdst)					
Rsrc, &abs20						
CMPA	Rsrc, Rdst	将源与目的寄存器相比较	*	*	*	*
	#imm20, Rdst					
SUBA	Rsrc, Rdst	将源从目的寄存器中减去	*	*	*	*
	#imm20, Rdst					

- (1) * = 状态位受到影响。
 - = 状态位不受影响。
 0 = 清除状态位。
 1 = 设置状态位。

4.5.2.7 MSP430X 指令执行

一个 MSP430X 指令所需的 CPU 时钟周期的数量取决于指令格式和使用的寻址模式，而不是指令本身。参考 MCLK 的时钟周期数量。

4.5.2.7.1 MSP430X 格式 II (单操作数) 指令周期和长度

表 4-17 列出了针对 MSP430X 扩展单操作数指令的所有寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 4-17. MSP430X 格式 II 指令周期和长度

指令	指令 (字) 的执行周期/长度						
	Rn	@Rn	@Rn+	#N	X(Rn)	EDE	&EDE
RRAM	n/1	-	-	-	-	-	-
RRCM	n/1	-	-	-	-	-	-
RRUM	n/1	-	-	-	-	-	-
RLAM	n/1	-	-	-	-	-	-
PUSHM	2+n/1	-	-	-	-	-	-
PUSHM.A	2+2n/1	-	-	-	-	-	-
POPM	2+n/1	-	-	-	-	-	-
POPM.A	2+2n/1	-	-	-	-	-	-
CALLA	4/1	5/1	5/1	4/2	6 ⁽¹⁾ /2	6/2	6/2
RRAX(.B)	1+n/2	4/2	4/2	-	5/3	5/3	5/3
RRAX.A	1+n/2	6/2	6/2	-	7/3	7/3	7/3
RRCX(.B)	1+n/2	4/2	4/2	-	5/3	5/3	5/3
RRCX.A	1+n/2	6/2	6/2	-	7/3	7/3	7/3
PUSHX(.B)	4/2	4/2	4/2	4/3	5 ⁽¹⁾ /3	5/3	5/3
PUSHX.A	5/2	6/2	6/2	6/3	7 ⁽¹⁾ /3	7/3	7/3
POPX(.B)	3/2	-	-	-	5/3	5/3	5/3
POPX.A	4/2	-	-	-	7/3	7/3	7/3

(1) 当 Rn=SP 时，增加一个周期

4.5.2.7.2 MSP430X 格式 I (双操作数) 指令周期和长度

表 4-18 列出了针对所有 MSP430X 扩展格式 I 指令寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 4-18. MSP430X 格式 I 指令周期和长度

寻址模式		周期数		指令的长度	示例
源	目标	.B/.W	.A	.B/.W/.A	
Rn	Rm ⁽¹⁾	2	2	2	BITX.B R5, R8
	PC	3	3	2	ADDX R9, PC
	X(Rm)	5 ⁽²⁾	7 ⁽³⁾	3	ANDX.A R5, 4(R6)
	EDE	5 ⁽²⁾	7 ⁽³⁾	3	XORX R8, EDE
	&EDE	5 ⁽²⁾	7 ⁽³⁾	3	BITX.W R5, &EDE
@Rn	Rm	3	4	2	BITX @R5, R8
	PC	3	4	2	ADDX @R9, PC
	X(Rm)	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	ANDX.A @R5, 4(R6)
	EDE	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	XORX @R8, EDE
	&EDE	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	BITX.B @R5, &EDE
@Rn+	Rm	3	4	2	BITX @R5+, R8
	PC	4	5	2	ADDX.A @R9+, PC
	X(Rm)	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	ANDX @R5+, 4(R6)
	EDE	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	XORX.B @R8+, EDE
	&EDE	6 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	3	BITX @R5+, &EDE
#N	Rm	3	3	3	BITX #20, R8
	PC ⁽⁴⁾	4	4	3	ADDX.A #FE00h, PC
	X(Rm)	6 ⁽²⁾	8 ⁽³⁾	4	ANDX #1234, 4(R6)
	EDE	6 ⁽²⁾	8 ⁽³⁾	4	XORX #A5A5h, EDE
	&EDE	6 ⁽²⁾	8 ⁽³⁾	4	BITX.B #12, &EDE
X(Rn)	Rm	4	5	3	BITX 2(R5), R8
	PC ⁽⁴⁾	5	6	3	SUBX.A 2(R6), PC
	X(Rm)	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	ANDX 4(R7), 4(R6)
	EDE	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	XORX.B 2(R6), EDE
	&EDE	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	BITX 8(SP), &EDE
EDE	Rm	4	5	3	BITX.B EDE, R8
	PC ⁽⁴⁾	5	6	3	ADDX.A EDE, PC
	X(Rm)	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	ANDX EDE, 4(R6)
	EDE	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	ANDX EDE, TONI
	&TONI	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	BITX EDE, &TONI
&EDE	Rm	4	5	3	BITX &EDE, R8
	PC ⁽⁴⁾	5	6	3	ADDX.A &EDE, PC
	X(Rm)	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	ANDX.B &EDE, 4(R6)
	TONI	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	XORX &EDE, TONI
	&TONI	7 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	4	BITX &EDE, &TONI

- (1) 重复指令要求 n+1 个周期，其中 n 是指令被执行的次数。
- (2) 对于 MOV, BIT, 和 CMP 指令，周期数量减 1。
- (3) 对于 MOV, BIT, 和 CMP 指令，周期数量减 2。
- (4) 对于 MOV, ADD, 和 SUB 指令，周期数量减 1。

4.5.2.7.3 MSP430X 寻址指令周期和长度

表 4-19 列出了针对 MSP430 地址指令的所有寻址模式的长度和 CPU 周期。

表 4-19. 寻址指令周期和长度

寻址模式		执行时间 (MCLK 周期数)		指令长度 (字数)		示例
源	目标	MOVA BRA	CMPA ADDA SUBA	MOVA	CMPA ADDA SUBA	
Rn	Rn	1	1	1	1	CMPA R5, R8
	PC	2	2	1	1	SUBA R9, PC
	x(Rm)	4	-	2	-	MOVA R5, 4 (R6)
	EDE	4	-	2	-	MOVA R8, EDE
	&EDE	4	-	2	-	MOVA R5, &EDE
@Rn	Rm	3	-	1	-	MOVA @R5, R8
	PC	3	-	1	-	MOVA @R9, PC
@Rn+	Rm	3	-	1	-	MOVA @R5+, R8
	PC	3	-	1	-	MOVA @R9+, PC
#N	Rm	2	3	2	2	CMPA #20, R8
	PC	3	3	2	2	SUBA #FE000h, PC
x(Rn)	Rm	4	-	2	-	MOVA 2 (R5), R8
	PC	4	-	2	-	MOVA 2 (R6), PC
EDE	Rm	4	-	2	-	MOVA EDE, R8
	PC	4	-	2	-	MOVA EDE, PC
&EDE	Rm	4	-	2	-	MOVA &EDE, R8
	PC	4	-	2	-	MOVA &EDE, PC

4.6 指令集说明

表 4-20 显示了所有可用指令：

表 4-20. MSP430X 的指令映射

	000	040	080	0C0	100	140	180	1C0	200	240	280	2C0	300	340	380	3C0
0xxx	MOVA, CMPA, ADDA, SUBA, RRCM, RRAM, RLAM, RRUM															
10xx	RRC	RRC.B	SWPB		RRA	RRA.B	SXT		PUSH	PUSH.B	CALL		RETI	CALLA		
14xx	PUSHM.A, POPM.A, PUSHM.W, POPM.W															
18xx	针对格式 I 和格式 II 指令的扩展字															
1Cxx																
20xx	JNE/JNZ															
24xx	JEQ/JZ															
28xx	JNC															
2Cxx	JC															
30xx	JN															
34xx	JGE															
38xx	JL															
3Cxx	JMP															
4xxx	MOV, MOV.B															
5xxx	ADD, ADD.B															
6xxx	ADDC, ADDC.B															
7xxx	SUBC, SUBC.B															
8xxx	SUB, SUB.B															
9xxx	CMP, CMP.B															
Axxx	DADD, DADD.B															
Bxxx	BIT, BIT.B															
Cxxx	BIC, BIC.B															
Dxxx	BIS, BIS.B															
Exxx	XOR, XOR.B															
Fxxx	AND, AND.B															

4.6.1 扩展指令二进制说明

详细的 MSP430X 指令二进制说明显示在以下的表中。

指令	指令组				src 或 data.19:16		指令标识符				dst		
	15	12	11	8	7	4	3	0					
MOVA	0	0	0	0	src		0	0	0	0	dst		MOVA @Rsrc,Rdst
	0	0	0	0	src		0	0	0	1	dst		MOVA @Rsrc+,Rdst
	0	0	0	0	&abs.19:16		0	0	1	0Ω	dst		MOVA &abs20,Rdst
	&abs.15:0												
	0	0	0	0	src		0	0	1	1	dst		MOVA x(Rsrc),Rdst
	x.15:0												
	0	0	0	0	src		0	1	1	0Ω	&abs.19:16		MOVA Rsrc,&abs20
	&abs.15:0												
	0	0	0	0	src		0	1	1	1	dst		MOVA Rsrc,X(Rdst)
	x.15:0												
CMPA	0	0	0	0	imm.19:16		1	0	0	0	dst		MOVA #imm20,Rdst
	imm.15:0												
ADDA	0	0	0	0	imm.19:16		1	0	0	1	dst		CMPA #imm20,Rdst
	imm.15:0												
SUBA	0	0	0	0	imm.19:16		1	0	1	1	dst		ADDA #imm20,Rdst
	imm.15:0												
MOVA	0	0	0	0	src		1	1	0	0	dst		SUBA #imm20,Rdst
CMPA	0	0	0	0	src		1	1	0	1	dst		MOVA Rsrc,Rdst
ADDA	0	0	0	0	src		1	1	1	0Ω	dst		CMPA Rsrc,Rdst
SUBA	0	0	0	0	src		1	1	1	1	dst		ADDA Rsrc,Rdst
SUBA	0	0	0	0	src		1	1	1	1	dst		SUBA Rsrc,Rdst

指令	指令组				位位置	指令 ID		指令标识符				dst		
	15	12	11	10	9	8	7	4	3	0				
RRCM.A	0	0	0	0	n-1	0	0	0	1	0	0	dst		RRCM.A #n,Rdst
RRAM.A	0	0	0	0	n-1	0	1	0	1	0	0	dst		RRAM.A #n,Rdst
RLAM.A	0	0	0	0	n-1	1	0	0	1	0	0	dst		RLAM.A #n,Rdst
RRUM.A	0	0	0	0	n-1	1	1	0	1	0	0	dst		RRUM.A #n,Rdst
RRCM.W	0	0	0	0	n-1	0	0	0	1	0	1	dst		RRCM.W #n,Rdst
RRAM.W	0	0	0	0	n-1	0	1	0	1	0	1	dst		RRAM.W #n,Rdst
RLAM.W	0	0	0	0	n-1	1	0	0	1	0	1	dst		RLAM.W #n,Rdst
RRUM.W	0	0	0	0	n-1	1	1	0	1	0	1	dst		RRUM.W #n,Rdst

指令	指令标识符											dst						
	15	12	11	8	7	6	5	4	3	0								
RETI	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CALLA	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	dst		CALLA Rdst			
	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	dst		CALLA x(Rdst)			
	x.15:0																	
	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0 Ω	dst		CALLA @Rdst			
	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	dst		CALLA @Rdst+			
	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	&abs.19:16		CALLA &abs20			
	&abs.15:0																	
	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	x.19:16		CALLA EDE			
	x.15:0													CALLA x(PC)				
	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	imm.19:16		CALLA #imm20			
	imm.15:0																	
保留	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	x	x	x	x		
保留	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x		
PUSHM.A	0	0	0	1	0	1	0	0	n-1			dst		PUSHM.A #n,Rdst				
PUSHM.W	0	0	0	1	0	1	0	1	n-1			dst		PUSHM.W #n,Rdst				
POPM.A	0	0	0	1	0	1	1	0 Ω	n-1			dst-n+1		POPM.A #n,Rdst				
POPM.W	0	0	0	1	0	1	1	n-1			dst-n+1		POPM.W #n,Rdst					

4.6.2 MSP430 指令

在下面的部分中对 MSP430 指令进行了说明。

MSP430X 扩展指令请参阅节 [4.6.3](#)，而 MSP430X 寻址指令请参阅节 [4.6.4](#)。

4.6.2.1 ADC

* ADC[W]	将进位增加到目的
* ADC.B	将进位加至目的
句法	ADC dst 或 ADC.W dst ADC.B dst
运行	dst+C→dst
仿真	ADDC #0, dst ADDC.B #0, dst
说明	进位位 (C) 被增加到目的操作数。目的操作数的之前内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 被从 0FFFFh 递增至 0000, 则置 1; 否则复位 如果 dst 被从 0FFh 递增至 00, 则置 1; 否则复位 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R13 指向的 16 位计数器被添加到 R12 指向的一个 32 位计数器内。

```
ADD @R13,0 (R12) ; Add LSDs
ADC 2 (R12) ; Add carry to MSD
```

示例 R13 指向的 8 位计数器被添加到 R12 指向的一个 16 位计数器内。

```
ADD.B @R13,0 (R12) ; Add LSDs
ADC.B 1 (R12) ; Add carry to MSD
```

4.6.2.2 加

ADD[W]	将源字加入至目的字
ADD.B	将源字节加至目的字节
语法	ADD src,dst 或 ADD.W src,dst ADD.B src,dst
运行	src+dst→dst
说明	源操作数被添加到目的操作数。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 V: 如果两个正操作数的结果为负, 或者如果两个负数的结果为正, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	位于低 64KB 内的 16 位计数器 CNTR 加 10。

```
ADD.W #10,&CNTR ; Add 10 to 16-bit counter
```

示例 由 R5 指向的表格字 (R5 内的 20 位地址) 被加入到 R6。在一个进位上执行跳转到标签 TONI。

```
ADD.W @R5,R6 ; Add table word to R6.R6.19:16 = 0
JC TONI ; Jump if carry
... ; No carry
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被加入到 R6。如果没有进位发生, 执行到标签 TONI 的跳转。表格指针自动加 1。R6.19:8=0

```
ADD.B @R5+,R6 ; Add byte to R6.R5 + 1.R6: 000xxh
JNC TONI ; Jump if no carry
... ; Carry occurred
```


4.6.2.3 ADDC

ADDC[W]	将源字和进位加入目的字
ADDC.B	将源字节和进位加入目的字节
语法	ADDC src,dst 或 ADDC.W src,dst ADDC.B src,dst
运行	src+dst+C→dst
说明	源操作数和进位位 C 被加入到目的操作数。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 V: 如果两个正操作数的结果为负, 或者如果两个负数的结果为正, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	常数 15 和之前指令的进位被加入到位于低 64KB 内的 16 位计数器 CNTR 内。

```
ADDC.W    #15,&CNTR    ; Add 15 + C to 16-bit CNTR
```

示例 由 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 和进位 C 被加入 R6。在一个进位上执行跳转到标签 TONI。R6.19:16=0

```
ADDC.W    @R5,R6      ; Add table word + C to R6
JC        TONI        ; Jump if carry
...       ; No carry
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的表格字节和进位位 C 被加入到 R6。如果没有进位发生, 执行到标签 TONI 的跳转。表格指针自动加 1。R6.19:8=0

```
ADDC.B    @R5+,R6     ; Add table byte + C to R6.R5 + 1
JNC       TONI        ; Jump if no carry
...       ; Carry occurred
```

4.6.2.4 与

AND[.W] 源字与目的字的逻辑与 (AND)

AND.B 源字节与目的字节的逻辑 AND

语法 AND src, dst 或 AND.W src, dst
AND.B src, dst

操作 src .and. dst → dst

说明 源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数中。源操作数不受影响。

状态位 N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位

Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位

C: 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位。C=(.not.Z)

V: 复位

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 R5 (16 位数据) 中置位的位被用作一个针对位于低 64KB 内字 TOM 的掩码(AA55h)。如果结果为零, 一个分支指令被带到标签 TONI。R5.19:16=0

```
MOV    #AA55h,R5      ; Load 16-bit mask to R5
AND    R5,&TOM        ; TOM .and.R5 -> TOM
JZ     TONI           ; Jump if result 0
...                               ; Result > 0
```

或更短:

```
AND    #AA55h,&TOM    ; TOM .and.AA55h -> TOM
JZ     TONI           ; Jump if result 0
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被与 R6 逻辑与。取字节后, R5 增 1。R6.19:8=0

```
AND.B  @R5+,R6       ; AND table byte with R6.R5 + 1
```

4.6.2.5 BIC

BIC.W]	清零目的字中源字内置 1 的位
BIC.B	清零目的字节中源字节内置 1 的位
语法	BIC src,dst 或 BIC.W src,dst BIC.B src,dst
操作	(.not src) .and. dst → dst
说明	被反转的源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 的位 15:14 (16 位数据) 被清零。R5.19:16=0

```
BIC #0C000h,R5 ; Clear R5.19:14 bits
```

示例 由 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于清零 R7 中的位。R7.19:16=0

```
BIC.W @R5,R7 ; Clear bits in R7 set in @R5
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用于清零 Port1 中的位。

```
BIC.B @R5,&P1OUT ; Clear I/O port P1 bits set in @R5
```

4.6.2.6 BIS

BIS.W]	将在目的字中源字内置 1 的位置 1
BIS.B	将在目的字节中源字节内置 1 的位置 1
语法	BIS src,dst 或 BIS.W src,dst BIS.B src,dst
操作	src.or.dst → dst
说明	源操作数与目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 的位 15 和位 13 (16 位数据) 被置 1。R5.19:16=0

```
BIS    #A000h,R5        ; Set R5 bits
```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于清零 R7 中的位。R7.19:16=0

```
BIS.W @R5,R7          ; Set bits in R7
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用来将 Port1 中的位置 1。之后 R5 增 1。

```
BIS.B @R5+,&P1OUT     ; Set I/O port P1 bits.R5 + 1
```

4.6.2.7 位

BIT[W]	测试在目的字中源字内置 1 的位
BIT.B	测试在目的字节中源字节内置 1 的位
语法	BIT src,dst 或 BIT.W src,dst BIT.B src,dst
操作	src .and. dst
说明	源操作数与目的操作数被逻辑与。结果只影响 SR 中的状态位。 寄存器模式：寄存器位 Rdst.19:16 (.W) resp. Rdst.19:8 (.B) 未被清零！
状态位	N： 如果结果为负 (MSB=1)，则置 1，如果为正 (MSB=0)，则复位 Z： 如果结果为零，则置 1；否则复位 C： 如果结果不为零，则置 1；否则复位。C=(.not.Z) V： 复位
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	测试是否 R5 的位 15 和 14 (16 位数据) 中的一个 (或两个) 被置 1。如果被置 1 的话则跳转至标签 TONI。R5.19:16 未受影响。

```

BIT    #C000h,R5      ; Test R5.15:14 bits
JNZ    TONI           ; At least one bit is set in R5
...    ; Both bits are reset

```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于测试 R7 中的位。如果至少一个位被置 1，则跳转至标签 TONI。R7.19:16 未受影响。

```

BIT.W  @R5,R7        ; Test bits in R7
JC     TONI           ; At least one bit is set
...    ; Both are reset

```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用来测试输出 Port1 中的位。如果没有位被置 1，则跳转至标签 TONI。下一个表格字节被寻址。

```

BIT.B  @R5+,&P1OUT   ; Test I/O port P1 bits.R5 + 1
JNC    TONI           ; No corresponding bit is set
...    ; At least one bit is set

```

4.6.2.8 BR , BRANCH

* BR, BRANCH	跳转到更低 64KB 地址空间中的目标
语法	BR dst
运行	dst→PC
仿真	MOV dst, PC
说明	一个无条件分支指令被指向低 64KB 地址空间的任一位置上的地址。可使用所有源寻址模式。分支指令是一个字指令。
状态位	状态位不受影响。
示例	给出了所有寻址模式的示例。

```

BR    #EXEC    ; Branch to label EXEC or direct branch (e.g. #0A4h)
        ; Core instruction MOV @PC+,PC
BR    EXEC     ; Branch to the address contained in EXEC
        ; Core instruction MOV X(PC),PC
        ; Indirect address
BR    &EXEC    ; Branch to the address contained in absolute
        ; address EXEC
        ; Core instruction MOV X(0),PC
        ; Indirect address
BR    R5       ; Branch to the address contained in R5
        ; Core instruction MOV R5,PC
        ; Indirect R5
BR    @R5     ; Branch to the address contained in the word
        ; pointed to by R5.
        ; Core instruction MOV @R5,PC
        ; Indirect, indirect R5
BR    @R5+    ; Branch to the address contained in the word pointed
        ; to by R5 and increment pointer in R5 afterwards.
        ; The next time-S/W flow uses R5 pointer-it can
        ; alter program execution due to access to
        ; next address in a table pointed to by R5
        ; Core instruction MOV @R5,PC
        ; Indirect, indirect R5 with autoincrement
BR    X(R5)   ; Branch to the address contained in the address
        ; pointed to by R5 + X (e.g. table with address
        ; starting at X).X can be an address or a label
        ; Core instruction MOV X(R5),PC
        ; Indirect, indirect R5 + X
    
```

4.6.2.9 调用

调用	调用一个低 64KB 内的子例程
语法	CALL dst
操作	dst → PC 评估和存储 16 位 dst SP - 2 → SP PC → @SP 将 PC 更新为 TOS 的返回地址 tmp → PC 将 16 位 dst 保存至 PC
说明	从一个低 64KB 内的地址到一个低 64KB 内的子例程地址进行子例程调用。可使用所有七个源寻址模式。此调用指令是一个字指令。使用 RET 指令来完成返回。
状态位	状态位不受影响。 清除 PC.19:16 (低位 64KB 中的地址)
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	给出了针对所有寻址模式的示例。 立即模式：在标签 EXEC (低位 64KB) 处调用子例程或直接调用地址。

```
CALL #EXEC           ; Start address EXEC
CALL #0AA04h        ; Start address 0AA04h
```

符号模式：在地址 EXEC 中包含的 16 位地址处调用子例程。EXEC 位于地址 (PC+X) 上，其中 X 在 PC+32K 内。

```
CALL EXEC           ; Start address at @EXEC. z16(PC)
```

绝对模式：在低位 64KB 中，在绝对地址 EXEC 中包含的 16 位地址处调用子例程。

```
CALL &EXEC         ; Start address at @EXEC
```

寄存器模式：在寄存器 R5.15:0 中包含的 16 位地址处调用子例程。

```
CALL R5           ; Start address at R5
```

间接模式：在寄存器 R5 指向的字 (20 位地址) 中包含的 16 位地址处调用子例程。

```
CALL @R5         ; Start address at @R5
```

4.6.2.10 CLR

* CLR[W]	清零目的操作数
* CLR.B	清零目的
句法	CLR dst 或 CLR.W dst CLR.B dst
运行	0→dst
仿真	MOV #0,dst MOV.B #0,dst
说明	目的操作数被清零。
状态位	状态位不受影响。
示例	RAM 字 TONI 被清零。

```
CLR    TONI    ; 0 -> TONI
```

示例 寄存器 R5 被清零。

```
CLR    R5
```

示例 RAM 字节 TONI 被清零。

```
CLR.B  TONI    ; 0 -> TONI
```


4.6.2.11 CLRC

* CLRC	清零进位位
句法	CLRC
运行	0→C
仿真	BIC #1,SR
说明	进位位 (C) 被清零。清零进位指令是字指令。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 被清零 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R13 指向的 16 位十进制计数器被添加到 R12 指向的一个 32 位计数器内。

```

CLRC                ; C=0: defines start
DADD @R13,0(R12)    ; add 16-bit counter to low word of 32-bit counter
DADC 2(R12)         ; add carry to high word of 32-bit counter
  
```

4.6.2.12 CLRN

* CLRN	清零负位
句法	CLRN
操作	0 → N 或 (.NOT.src .AND. dst → dst)
仿真	BIC #4, SR
说明	常数 04h 被反转 (0FFBh) 并且与目的操作数进行逻辑与。结果被放置在目的操作数内。清零负位指令为字指令。
状态位	N: 复位为 0 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	SR 中的负位被清零。这避免了对子例程调用的负数的特别处理。

```

                CLRN
CALL          SUBR
                ...
                ...
SUBR          JN      SUBRET      ; If input is negative: do nothing and return
                ...
                ...
SUBRET       RET
    
```

4.6.2.13 CLRZ

* CLRZ	清零零位
句法	CLRZ
操作	0 → Z 或 (.NOT.src .AND. dst → dst)
仿真	BIC #2, SR
说明	常数 02h 被反转 (0FFFDh) 并且与目的操作数进行逻辑与。结果被放置在目的操作数内。清零零位指令为字指令。
状态位	N: 不受影响 Z: 复位为 0 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	SR 中的零位被清零。

CLRZ

间接自动递增模式：在寄存器 R5 指向的字 (20 位地址) 中包含的 16 位地址处调用子例程并且之后使 R5 中的 16 位地址递增 2。下次软件使用 R5 作为一个指针，访问由 R5 指向表中的下一个字地址使得它能够改变程序执行。

```
CALL @R5+          ; Start address at @R5.R5 + 2
```

已索引模式：在寄存器 (R5 + X) 指向的 20 位地址中包含的 16 位地址处调用子例程，例如地址从 X 开始的表。地址位于低位 64KB 中。X 位于 +32KB 内。

```
CALL X(R5)        ; Start address at @(R5+X).z16(R5)
```

4.6.2.14 CMP

CMP[W]	将源字与目的字相比较
CMP.B	将源字节与目的字节相比较
语法	CMP src,dst 或 CMP.W src,dst CMP.B src,dst
操作	(.not.src) + 1 + dst 或 dst - src
仿真	BIC #2,SR
说明	从目的操作数中减去源操作数。通过在目的中增加源 + 1 的 1s 补充来完成。结果只影响 SR 中的状态位。 寄存器模式：寄存器位 Rdst.19:16 (.W) resp. Rdst.19:8 (.B) 未被清零。
状态位	N： 如果结果为负 (src>dst)，则置 1，如果为正，则复位 (src≤dst) Z： 如果为零 (src=dst)，则置 1；否则复位 (src≠dst) C： 如果 MSB 有进位，则置 1；否则复位 V： 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果，或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果，则置 1；否则复位 (无溢出)。
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	将字 EDE 与一个 16 位常数 1800h 相比较。如果 EDE 等于常数则跳转至标签 TONI。EDE 的地址在 PC+32K 内。

```

CMP    #01800h,EDE    ; Compare word EDE with 1800h
JEQ    TONI           ; EDE contains 1800h
...    ; Not equal
    
```

示例 (R5+10) 指向的一个表格字与 R7 相比较。如果 R7 包含一个较低的、带符号的 16 位数，则跳转至标签 TONI。R7.19:16 未被清零。源操作数的地址为完全地址范围内的一个 20 位地址。

```

CMP.W  10(R5),R7     ; Compare two signed numbers
JL     TONI           ; R7 < 10(R5)
...    ; R7 >= 10(R5)
    
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节与输出 Port1 中的值相比较。如果这两个值相等，则跳转至标签 TONI。下一个表格字节被寻址。

```

CMP.B  @R5+,&P1OUT    ; Compare P1 bits with table.R5 + 1
JEQ    TONI           ; Equal contents
...    ; Not equal
    
```

4.6.2.15 DADC

* DADC[W]	将十进制进位增加到目的
* DADC.B	将十进制进位加至目的
句法	DADC dst 或 DADC.W dst DADC.B dst
运行	dst+C→dst (用十进制)
仿真	DADD #0, dst DADD.B #0, dst
说明	十进制进位位 (C) 被加入到目的操作数中。
状态位	N: 如果 MSB 为 1, 则置 1 Z: 如果 dst 为 0, 则置 1; 否则复位 C: 如果目的从 9999 至 0000 递增, 则置 1; 否则复位 如果目的从 99 至 00 递增, 则置 1; 否则复位 V: 未定义
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	包含在 R5 中的四位十进制数被增加到由 R8 指向的一个八位十进制数上。

```

CLRC                ; Reset carry
                    ; next instruction's start condition is defined
DADD R5,0 (R8)      ; Add LSDs + C
DADC 2 (R8)          ; Add carry to MSD

```

示例 包含在 R5 中的两位十进制数被增加到由 R8 指向的一个四位十进制数上。

```

CLRC                ; Reset carry
                    ; next instruction's start condition is defined
DADD.B R5,0 (R8)    ; Add LSDs + C
DADC 1 (R8)          ; Add carry to MSDs

```

4.6.2.16 DADD

* DADD[.W]	增加源字和十进制进位至目的字
* DADD.B	增加源字节和十进制进位至目的字节
语法	DADD src,dst 或 DADD.W src,dst DADD.B src,dst
运行	src+dst+C→dst (用十进制)
说明	源操作数和目的操作数被视为具有正符号的两个 (.B) 或者四个 (.W) 的二进制编码的十进制 (BCD)。源操作数和进位位 C 以十进制格式加到目标操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。此结果不针对非 BCD 数定义。
状态位	N: 如果结果的 MSB 为 1 (字 > 7999h, 字节 > 79h), 则置 1, 如果 MSB 为 0, 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果 BCD 结果太大 (字 > 9999h, 字节 > 99h), 则置 1; 否则复位 V: 未定义
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	十进制数 10 被增加 16 位 BCD 计数器 DECCNTR。

```
DADD #10h,&DECCNTR ; Add 10 to 4-digit BCD counter
```

示例 包含在 16 位 RAM 地址 BCD 和 BCD+2 中的 8 位 BCD 数被用十进制加入到包含在 R4 和 R5 中的一个 8 位 BCD 数中 (BCD+2 和 R5 包含 MSD)。进位 C 被增加、清零。

```
CLRC ; Clear carry
DADD.W &BCD,R4 ; Add LSDs.R4.19:16 = 0
DADD.W &BCD+2,R5 ; Add MSDs with carry.R5.19:16 = 0
JC OVERFLOW ; Result >9999,9999: go to error routine
...
```

示例 包含在字 BCD 中的两位 BCD 数 (16 位地址) 被用十进制增加到包含在 R4 中的一个两位 BCD 数中。进位 C 也被加入。R4.19:8 = 0
CLRC ; Clear carry
DADD.B &BCD,R4 ; Add BCD to R4 decimally.
R4: 0,00ddh

```
CLRC ; Clear carry
DADD.B &BCD,R4 ; Add BCD to R4 decimally.
R4: 0,00ddh
```

4.6.2.17 DEC

* DEC[W]	递减目的
* DEC.B	递减目的
句法	DEC dst 或 DEC.W dst DEC.B dst
操作	dst - 1 → dst
仿真	SUB #1, dst SUB.B #1, dst
说明	目的操作数减 1。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 1, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 包含 0, 则复位; 否则置 1 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位。 如果目的的初始值为 08000h, 则置 1; 否则复位。 如果目的的初始值为 080h, 则置 1; 否则复位。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R10 递减 1。

```

DEC     R10                ; Decrement R10
; Move a block of 255 bytes from memory location starting with EDE to
; memory location starting with TONI. Tables should not overlap: start of
; destination address TONI must not be within the range EDE to EDE+0FEh
MOV     #EDE, R6
MOV     #510, R10
L$1    MOV     @R6+, TONI-EDE-1 (R6)
        DEC     R10
        JNZ    L$1
    
```

不要上面具有图 4-35 中所显示的交叉的例程来传送表格。

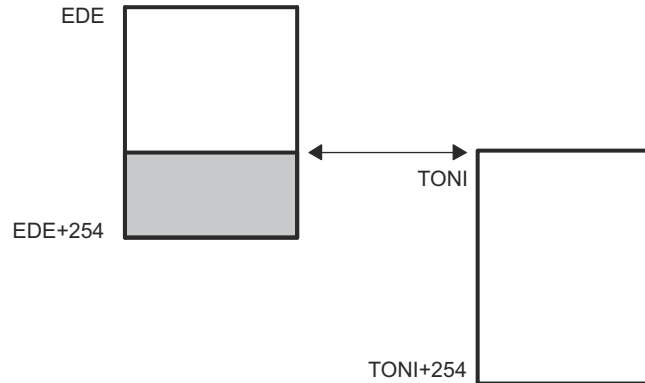


图 4-35. 递减交叉

4.6.2.18 DECD

* DECD[W]	双递减目的
* DECD.B	双递减目的
句法	DECD dst 或 DECD.W dst DECD.B dst
操作	dst - 2 → dst
仿真	SUB #2, dst SUB.B #2, dst
说明	目的操作数递减 2。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 2, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 包含 0, 则复位; 否则置 1 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位 如果目标的初始值为 08001 或 08000h, 则置 1; 否则复位 如果目标的初始值为 081 或 080h, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R10 递减 2。

```

        DECD    R10                ; Decrement R10 by two
; Move a block of 255 bytes from memory location starting with EDE to
; memory location starting with TONI.
; Tables should not overlap: start of destination address TONI must not
; be within the range EDE to EDE+0FEh
        MOV     #EDE, R6
        MOV     #255, R10
L$1    MOV.B   @R6+, TONI-EDE-2 (R6)
        DECD   R10
        JNZ    L$1
    
```

示例 位置 LEO 上的存储器递减 2。

```
DECD.B   LEO                ; Decrement MEM(LEO)
```

将状态字节 STATUS 递减 2

```
DECD.B   STATUS
```


4.6.2.19 DINT

* DINT	禁用 (通用) 中断
句法	DINT
操作	0 → GIE 或 (0FFF7h .AND.SR → SR/.NOT. src .AND. dst → dst)
仿真	BIC #8, SR
说明	所有中断被禁用。 常数 08h 被按位取反, 然后与 SR 进行逻辑与运算。结果被放置在 SR 内。
状态位	状态位不受影响。
模式位	GIE 被清零。OSCOFF 和 CPUOFF 不受影响。
示例	SR 中的通用中断启用 (GIE) 位被清零来实现一个 32 位计数器的非中断移动。这就确保任一中断进行移动期间计数器不会被修改。

```

DINT                ; All interrupt events using the GIE bit are disabled
NOP
MOV    COUNTHI,R5   ; Copy counter
MOV    COUNTLO,R6
EINT                ; All interrupt events using the GIE bit are enabled

```

备注

禁用中断

如果保护任一代码序列不被中断, 在不可中断序列开始前, DINT 应该至少在一个指令上被执行, 或者在它之后应该有一个 NOP 指令。

4.6.2.20 EINT

* EINT	启用 (通用) 中断
句法	EINT
操作	1 → GIE 或 (0008h .OR. SR → SR/.src .OR. dst → dst)
仿真	BIS #8, SR
说明	所有中断被启用。 常数 #08h 与 SR 进行逻辑或运算。结果被放置在 SR 内。
状态位	状态位不受影响。
模式位	GIE 被置位。OSCOFF 和 CPUOFF 不受影响。
示例	将 SR 中的通用中断使能 (GIE) 位置 1。

```

; Interrupt routine of ports P1.2 to P1.7
; P1IN is the address of the register where all port bits are read.
; P1IFG is the address of the register where all interrupt events are latched.
    PUSH.B    &P1IN
    BIC.B    @SP, &P1IFG    ; Reset only accepted flags
    EINT
                                ; Preset port 1 interrupt flags stored on stack
                                ; other interrupts are allowed

    BIT     #Mask, @SP
    JEQ    MaskOK           ; Flags are present identically to mask: jump
    ...
    ...
MaskOK   BIC     #Mask, @SP
    ...
    ...
    INCD    SP              ; Housekeeping: inverse to PUSH instruction
                                ; at the start of interrupt subroutine. Corrects
                                ; the stack pointer.

    RETI
    
```

备注

启用中断

当中断被启用时，启用中断指令 (EINT) 后的指令一直被执行，即使一个中断处理请求在等待中也是如此。

4.6.2.21 INC

* INC.W]	递增目的
* INC.B	递增目的
句法	INC dst 或 INC.W dst INC.B dst
运行	dst +1 → dst
仿真	ADD #1, dst
说明	目的操作数被递增 1。原先的内容丢失。
状态位	<p>N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z: 如果 dst 包含 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>C: 如果 dst 包含 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>V: 如果 dst 包含 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07Fh, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	一个进程的状态字节, STATUS, 被递增。当它等于 11 时, 采用一个到 OVFL 的分支指令。

```

INC.B STATUS
CMP.B #11, STATUS
JEQ OVFL
  
```

4.6.2.22 INCD

* INCD[W]	双递增目的
* INCD.B	双递增目的
句法	INCD dst 或 INCD.W dst INCD.B dst
运行	dst + 2 → dst
仿真	ADD #2, dst ADD.B #2, dst
说明	目的操作数被递增 2。原先的内容丢失。
状态位	<p>N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z : 如果 dst 包含 0FFFEh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FEh, 则置 1; 否则复位</p> <p>C : 如果 dst 包含 0FFFEh 或 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FEh 或 0FFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>V : 如果 dst 包含 07FFEh 或 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07Eh 或 07Fh, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	堆栈顶部 (TOS) 的项目在不使用一个寄存器的情况下被删除。

```

.....
PUSH  R5      ; R5 is the result of a calculation, which is stored
          ; in the system stack
INCD  SP      ; Remove TOS by double-increment from stack
          ; Do not use INCD.B, SP is a word-aligned register
RET
    
```

示例 堆栈顶端的字节递增 2。

```
INCD.B 0(SP) ; Byte on TOS is increment by two
```

4.6.2.23 INV

* INV[W]	反转目的
* INV.B	反转目的
句法	INV dst 或 INV.W dst INV.B dst
操作	.not.dst→dst
仿真	XOR #0FFFFh, dst XOR.B #0FFh, dst
说明	目的操作数被反转。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位 (=NOT.零) V: 如果初始目的操作数为负, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 的内容被求反 (2s 补数)。

```

MOV #00AEh, R5 ; R5 = 000AEh
INV R5 ; Invert R5, R5 = 0FF51h
INC R5 ; R5 is now negated, R5 = 0FF52h
  
```

示例 存储器字节的内容被求反。

```

MOV.B #0AEh, LEO ; MEM(LEO) = 0AEh
INV.B LEO ; Invert LEO, MEM(LEO) = 051h
INC.B LEO ; MEM(LEO) is negated, MEM(LEO) = 052h
  
```

4.6.2.24 JC , JHS

JC	如果进位则跳转
JHS	如果高于或同样则跳转 (无符号)
语法	JC label JHS label
操作	如果 $C = 1$: $PC + (2 \times \text{偏移}) \rightarrow PC$ 如果 $C = 0$: 执行下一条指令
说明	SR 中的进位位 C 被测试。如果它被置 1, 包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2, 符号被扩展, 并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果 C 被复位, 跳转之后的指令被执行。 JC 用于测试进位位 C。 JHS 用于无符号数的比较。
状态位	状态位不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	端口 1 引脚 P1IN.1 位的状态定义程序流。

```

BIT.B #2,&P1IN      ; Port 1, bit 1 set? Bit -> C
JC    Label1        ; Yes, proceed at Label1
...           ; No, continue
    
```

示例 如果 $R5 \geq R6$ (无符号), 程序在 Label2 上继续执行。

```

CMP    R6,R 5        ; Is R5 >= R6? Info to C
JHS    Label2        ; Yes, C = 1
...           ; No, R5 < R6.继续
    
```

示例 如果 $R5 \geq 12345h$ (无符号操作数), 程序在 Label2 上继续执行。

```

CMPA   #12345h,R5    ; Is R5 >= 12345h? Info to C
JHS    Label2        ; Yes, 12344h < R5 <= F,FFFFh.C = 1
...           ; No, R5 < 12345h.继续
    
```

4.6.2.25 JEQ , JZ

JEQ	如果相等则跳转
JZ	如果为零则跳转
语法	JEQ label JZ label
操作	如果 Z = 1 : PC + (2 × 偏移) → PC 如果 Z = 0 : 执行下一条指令
说明	SR 中的零位 Z 被测试。如果它被置 1，包含在指令中的带符号 10 位偏移被乘以 2，符号被扩展，并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果 Z 被复位，执行跳转后的指令。 JZ 用于零位 Z 的测试。 JEQ 用于操作数比较。
状态位	状态位不受影响
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	P21N.0 位的状态定义了程序流程。

```

BIT.B #1,&P2IN ; Port 2, bit 0 reset?
JZ Label1 ; Yes, proceed at Label1
... ; No, set, continue

```

示例 如果 R5=15000h (20 位数据)，程序继续在 Label2 上执行。

```

CMPA #15000h,R5 ; Is R5 = 15000h? Info to SR
JEQ Label2 ; Yes, R5 = 15000h.Z = 1
... ; No, R5 not equal 15000h.继续

```

示例 R7 (20 位计数器) 被递增。如果它的内容为零，程序继续在 Label4 上执行。

```

ADDA #1,R7 ; Increment R7
JZ Label4 ; Zero reached: Go to Label4
... ; R7 not equal 0.Continue here.

```

4.6.2.26 JGE

JGE	如果大于或者相等则条状 (无符号)
语法	JGE label
操作	如果 (N .xor.V) = 0 : PC + (2 × 偏移) → PC 如果 (N .xor.V) = 1 : 执行下一条指令
说明	<p>SR 中的负位 N 和溢位 V 被测试。如果两个位都被置 1 或被复位, 包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2, 符号被扩展, 并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果只有一个位被置 1, 跳转之后的指令被执行。</p> <p>JGE 被用于带符号操作数的比较: 也用于由溢出造成的不正确结果的比较, JGE 指令做出的决定是正确的。</p> <p>注意: 如果在指令 AND、BIT、RRA、SCTX 和 TST 之后使用, 则 JGE 模拟未实现的 JP (如果为正, 则跳转) 指令。这些指令清零 V 位。</p>
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	如果字节 EDE (低 64KB) 包含正数据, 则转至 Label1。软件可运行在完全存储器范围内。

```
TST.B    &EDE           ; Is EDE positive? V <- 0
JGE     Label1         ; Yes, JGE emulates JP
...      ; No, 80h <= EDE <= FFh
```

示例 如果 R6 的内容大于或者等于由 R7 指向的存储器, 程序继续在 Label5 上执行。带符号数据。完全存储器范围内的数据和程序。

```
CMP     @R7,R6         ; Is R6 >= @R7?
JGE     Label5         ; Yes, go to Label5
...      ; No, continue here
```

示例 如果 R5 ≥ 12345h (带符号操作数), 程序继续在 Label2 上执行。完全存储器范围内的程序。

```
CMPA   #12345h,R5     ; Is R5 >= 12345h?
JGE     Label2         ; Yes, 12344h < R5 <= 7FFFFh
...      ; No, 80000h <= R5 < 12345h
```


4.6.2.27 JL

JL	如果少于则跳转 (带符号)
语法	JL label
操作	如果 (N .xor.V) = 1 : PC + (2 × 偏移) → PC 如果 (N .xor.V) = 0 : 执行下一条指令
说明	SR 中的负位 N 和溢位 V 被测试。如果只有一个被置 1, 包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2, 符号被扩展, 并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果位 N 和 V 都被置 1 或者被复位, 执行跳转之后的指令。 JL 被用于带符号操作数的比较: 也用于由溢出造成的不正确结果的比较, JL 指令做出的决定是正确的。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	如果字节 EDE 包含一个比字节 TONI 更小的、无符号操作数, 则继续在 Label1 上。地址 EDE 在 PC±32K 内。

```

CMP.B  &TONI,EDE      ; Is EDE < TONI
JL     Label1        ; Yes
...                               ; No, TONI <= EDE

```

示例 如果 R6 的带符号内容少于由 R7 指向的存储器 (20 位地址), 程序继续在 Label5 上执行。完全存储器范围内的数据和程序。

```

CMP    @R7,R6        ; Is R6 < @R7?
JL     Label5        ; Yes, go to Label5
...                               ; No, continue here

```

示例 如果 R5 < 12345h (带符号操作数), 程序继续在 Label2 上执行。完全存储器范围内的数据和程序。

```

CMPA   #12345h,R5    ; Is R5 < 12345h?
JL     Label2        ; Yes, 80000h =< R5 < 12345h
...                               ; No, 12344h < R5 <= 7FFFFh

```

4.6.2.28 JMP

JMP	无条件跳转
句法	JMP label
操作	PC + (2 × 偏移) → PC
说明	包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2，符号被扩展，并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的无条件跳转。JMP 指令在其相对于 PC 的有限范围内可被用作一个 BR 或者 BRA 指令。
状态位	状态位不受影响
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	字节 STATUS 被设置为 10。然后进行到标签 MAINLOOP 的跳转。低 64KB 内的数据，完全存储器范围内的程序。

```
MOV.B #10,&STATUS ; Set STATUS to 10
JMP MAINLOOP ; Go to main loop
```

示例	Timer_A3 的中断矢量 TAIV 被读取并用于程序流程。完全存储器范围内的程序，但是中断处理器一直在低 64KB 内启动。
-----------	--

```
ADD &TAIV,PC ; Add Timer_A interrupt vector to PC
RETI ; No Timer_A interrupt pending
JMP IHCCR1 ; Timer block 1 caused interrupt
JMP IHCCR2 ; Timer block 2 caused interrupt
RETI ; No legal interrupt, return
```

4.6.2.29 JN

JN	如果为负则跳转
句法	JN label
操作	如果 N = 1 : PC + (2 × 偏移) → PC 如果 N = 0 : 执行下一条指令
说明	SR 中的负位 N 被测试。如果它被置 1, 包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2, 符号被扩展, 并且被加入到 20 位程序 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果 N 被复位, 跳转之后的指令被执行。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	字节 COUNT 被测试。如果它为负, 程序继续在 Label0 上执行。低 64KB 内的数据, 完全存储器范围内的程序。

```
TST.B  &COUNT      ; Is byte COUNT negative?
JN     Label0        ; Yes, proceed at Label0
...      ; COUNT >= 0
```

示例 从 R5 中减去 R6。如果结果为负, 程序继续在 Label2 上执行。完全存储器范围内的程序。

```
SUB   R6,R5          ; R5 - R6 -> R5
JN    Label2         ; R5 is negative: R6 > R5 (N = 1)
...      ; R5 >= 0.Continue here.
```

示例 R7 (20 位计数器) 被递减。如果它的内容为负, 程序继续在 Label4 上执行。完全存储器范围内的程序。

```
SUBA  #1,R7          ; Decrement R7
JN    Label4         ; R7 < 0: Go to Label4
...      ; R7 >= 0.Continue here.
```

4.6.2.30 JNC , JLO

JNC	如果无进位则跳转
JLO	如果低于则跳转 (无符号)
语法	JNC label JLO label
操作	如果 C = 0 : PC + (2 × 偏移) → PC 如果 C = 1 : 执行下一条指令
说明	SR 中的进位位 C 被测试。如果它被复位, 包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2, 符号被扩展, 并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果 C 被置 1, 跳转之后的指令被执行。 JNC 用于测试进位位 C。 JLO 用于无符号数的比较。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	如果字节 EDE < 15, 程序继续在 Label2 上执行。无符号数据。低 64KB 内的数据, 完全存储器范围内的程序。

```

CMP.B #15,&EDE      ; Is EDE < 15? Info to C
JLO   Label2       ; Yes, EDE < 15.C = 0
...           ; No, EDE >= 15.继续
    
```

示例 字 TONI 被加入 R5。如果无进位出现, 继续在 Label0 上执行。TONI 的地址在 PC±32K 内。

```

ADD   TONI,R5      ; TONI + R5 -> R5.Carry -> C
JNC   Label0       ; No carry
...           ; Carry = 1: continue here
    
```

4.6.2.31 JNZ , JNE

JNZ 如果不为零则跳转

JNE 如果不相等则跳转

语法 JNZ label

JNE label

操作 如果 $Z = 0$: $PC + (2 \times \text{偏移}) \rightarrow PC$

如果 $Z = 1$: 执行下一条指令

说明 SR 中的零位 Z 被测试。如果它被复位，包含在指令中的带符号 10 位字偏移被乘以 2，符号被扩展，并且被加入到 20 位 PC 中。这意味着相对于全部存储器范围内的 PC 的 -511 至 +512 字的跳转。如果 Z 被置 1，执行跳转后的指令。

JNZ 用于零位 Z 的测试。

JNE 用于操作数比较。

状态位 状态位不受影响。

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 字节 STATUS 被测试。如果它不为零，程序继续在 Label3 上执行。STATUS 的地址在 $PC \pm 32K$ 内。

```
TST.B STATUS      ; Is STATUS = 0?
JNZ Label3        ; No, proceed at Label3
...               ; Yes, continue here
```

示例 如果 $EDE \neq 1500$ ，程序继续在 Label2 上执行。低 64KB 中的数据，完全存储器范围内的程序。

```
CMP #1500,&EDE    ; Is EDE = 1500? Info to SR
JNE Label2        ; No, EDE not equal 1500.
...               ; Yes, R5 = 1500.继续
```

示例 R7 (20 位计数器) 被递减。如果它的内容非零，程序继续在 Label4 上执行。完全存储器范围内的程序。

```
SUBA #1,R7        ; Decrement R7
JNZ Label4        ; Zero not reached: Go to Label4
...               ; Yes, R7 = 0.Continue here.
```

4.6.2.32 MOV

MOV[.W]	将源字移动到目的字
MOV.B	将源字节移动到目的字节
语法	MOV src,dst 或 MOV.W src,dst MOV.B src,dst
运行	src→dst
说明	源操作数被复制到目的操作数。源操作数不受影响。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将一个 16 位常数 1800h 移动到绝对地址字 EDE (低 64KB)

```
MOV    #01800h,&EDE           ; Move 1800h to EDE
```

示例 表 EDE 的内容 (字数据, 16 位地址) 被复制到表 TOM。表的长度为 030h 字。两个表都驻留在低 64KB 内。

```
Loop   MOV    #EDE,R10           ; Prepare pointer (16-bit address)
        MOV    @R10+,TOM-EDE-2(R10) ; R10 points to both tables.
        ; R10+2
        CMP    #EDE+60h,R10      ; End of table reached?
        JLO   Loop              ; Not yet
        ...                      ; Copy completed
```

示例 表 EDE 的内容 (字节数据, 16 位地址) 被复制到表 TOM。表的长度为 020h 字节。两个表都驻留在完全存储器范围内, 但是必须在 R10±32K 之内。

```
Loop   MOVA   #EDE,R10           ; Prepare pointer (20-bit)
        MOV    #20h,R9           ; Prepare counter
        MOV.B @R10+,TOM-EDE-1(R10) ; R10 points to both tables.
        ; R10+1
        DEC   R9                 ; Decrement counter
        JNZ   Loop              ; Not yet done
        ...                      ; Copy completed
```

4.6.2.33 NOP

* NOP	无操作
句法	NOP
运行	无
仿真	MOV #0, R3
说明	不执行操作。软件检查期间或者定义的等待时间内，此指令可被用于指令的删除。
状态位	状态位不受影响。

4.6.2.34 POP

* POP[W]	从堆栈中弹出字到目的
* POP.B	将字节从堆栈弹出至目的
句法	POP dst POP.B dst
操作	@SP → temp SP + 2 → SP temp → dst
仿真	MOV @SP+,dst 或 MOV.W @SP+,dst MOV.B @SP+,dst
说明	SP 指向的堆栈位置被移动到目的。之后，SP 被增加 2。
状态位	状态位不受影响。
示例	R7 和 SR 的内容被从堆栈中恢复。

```
POP    R7        ; Restore R7
POP    SR        ; Restore status register
```

示例 RAM 字节 LEO 的内容被从堆栈中恢复。

```
POP.B  LEO      ; The low byte of the stack is moved to LEO.
```

示例 R7 的内容被从堆栈中恢复。

```
POP.B  R7        ; The low byte of the stack is moved to R7,
                  ; the high byte of R7 is 00h
```

示例 R7 和 SR 指向的存储器的内容被从堆栈中恢复。

```
POP.B  0(R7)    ; The low byte of the stack is moved to the
                  ; the byte which is pointed to by R7
: 示例:   R7 = 203h
;         Mem(R7) = low byte of system stack
: 示例:   R7 = 20Ah
;         Mem(R7) = low byte of system stack
POP    SR        ; Last word on stack moved to the SR
```

备注

系统堆栈指针

系统 SP 被一直加 2，而与字节后缀无关。

4.6.2.35 PUSH

PUSH[W]	将一个字保存在堆栈上
PUSH.B	将一个字节保存在堆栈上
语法	PUSH dst 或 PUSH.W dst PUSH.B dst
操作	SP - 2 → SP dst → @SP
说明	20 位 SP 被减 2。然后操作数被复制到由 SP 寻址的 RAM 字。一个压入的字节被存储在低字节内；高字节不受影响。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	在堆栈上保存两个 16 位寄存器 R9 和 R10

```
PUSH R9 ; Save R9 and R10 XXXXh
PUSH R10 ; YYYYh
```

示例 在堆栈上保存两个字节 EDE 和 TONI。EDE 和 TONI 的地址在 PC±32K 内。

```
PUSH.B EDE ; Save EDE xxxXh
PUSH.B TONI ; Save TONI xxYYh
```

4.6.2.36 RET

RET	从子例程返回
句法	RET
操作	@SP → PC.15:0 将 PC 保存至 PC.15:0。PC.19:16 ← 0 SP + 2 → SP
说明	被一个 CALL 指令压入堆栈的 16 位返回地址 (低 64KB) 被恢复至 PC。程序继续在子例程调用之后的地址上执行。 PC.19:16 的四个 MSB 被清零。
状态位	状态位不受影响。 PC.19:16 : 被清零
模式位	OSCOFF , CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	调用一个低 64KB 内的子例程 SUBR 并且在 CALL 之后返回到低 64KB 内的地址。

```

CALL    #SUBR    ; Call subroutine starting at SUBR
...
SUBR    PUSH     R14    ; Save R14 (16 bit data)
...
        ; Subroutine code
POP     R14    ; Restore R14
RET     ; Return to lower 64KB
    
```

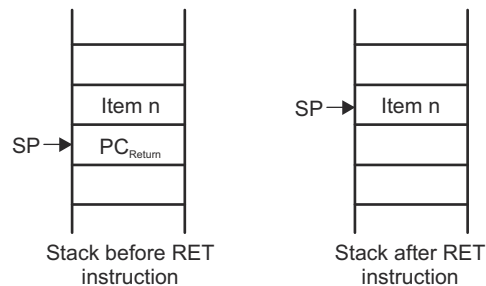


图 4-36. 一个 RET 指令之后的堆栈

4.6.2.37 RETI

RETI	从中断返回	
句法	RETI	
操作	@SP → SR.15:0 SP + 2 → SP	用 PC.19:16 恢复保存的 SR
	@SP → PC.15:0 SP + 2 → SP	恢复保存的 PC.15:0 辅助控制
说明	SR 被恢复至中断处理例程的开始值。这包括 PC.19:16 的四个 MSB。之后 SP 被加 2。 20 位 PC 从 PC.19:16 (从与状态位相同的堆栈位置) 和 PC.15:0 恢复。20 位 PC 被恢复至中断处理例程的开始值。当中断被批准后，程序继续在最后一个被执行指令之后的地址上执行。之后，SP 被加 2。	
状态位	N： 从堆栈恢复 C： 从堆栈恢复 Z： 从堆栈恢复 V： 从堆栈恢复	
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 从堆栈恢复。	
示例	低 64KB 内的中断处理器一个 20 位返回地址被存储在堆栈上。	

```

INTRPT  PUSHM.A  #2,R14    ; Save R14 and R13 (20-bit data)
...      ; Interrupt handler code
POPM.A   #2,R14    ; Restore R13 and R14 (20-bit data)
RETI     ; Return to 20-bit address in full memory range
  
```

4.6.2.38 RLA

* RLA[W]	算术左旋
* RLA.B	算术左旋转
句法	RLA dst 或 RLA.W dst RLA.B dst
操作	$C \leftarrow MSB \leftarrow MSB-1 \dots LSB+1 \leftarrow LSB \leftarrow 0$
仿真	ADD dst, dst ADD.B dst, dst
说明	目的操作数如图 4-37 中显示的那样左移一个位置。MSB 被移入进位位 (C)，而 LSB 用 0 填充。RLA 指令运行为一个带符号的 2 倍乘。 如果在执行操作之前 $dst \geq 04000h$ 且 $dst < 0C000h$ ，则会发生溢出；结果的符号发生更改。

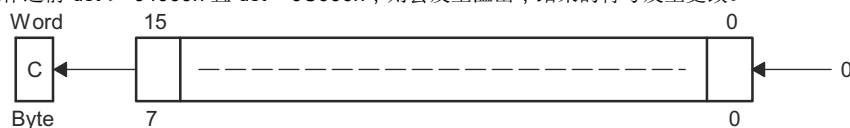


图 4-37. 目标操作数 - 算术左移

如果在执行操作之前 $dst \geq 040h$ 且 $dst < 0C0h$ ，则会发生溢出；结果的符号发生更改。

状态位	N: 如果结果为负则置 1，如果为正则复位 Z: 如果结果为零则置 1，否则复位 C: 从 MSB 载入 V: 如果一个算术溢出发生：初始值为 $04000h \leq dst < 0C000h$ ，则置 1；否则复位 如果一个算术溢出发生：初始值为 $040h \leq dst < 0C0h$ ，则置 1；否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R7 乘以 2。

```
RLA    R7    ; Shift left R7    (x 2)
```

示例 R7 的低字节乘以 4。

```
RLA.B  R7    ; Shift left low byte of R7    (x 2)
RLA.B  R7    ; Shift left low byte of R7    (x 4)
```

备注

RLA 的替代指令

汇编程序并不识别指令：

```
RLA @R5+          RLA.B @R5+          RLA (.B) @R5
```

它们必须由以下指令替代：

```
ADD @R5+,-2(R5)  ADD.B @R5+,-1(R5)  ADD (.B) @R5
```

4.6.2.39 RLC 所取代：

* RLC[W]	通过进位左旋
* RLC.B	通过进位左旋
语法	RLC dst 或 RLC.W dst RLC.B dst
操作	$C \leftarrow MSB \leftarrow MSB-1 \dots LSB+1 \leftarrow LSB \leftarrow C$
仿真	ADDC dst, dst
说明	如图 4-38 中所示，目的操作数向左移动一个位置。进位位 (C) 被移入 LSB，而 MSB 被移入进位位 (C)。

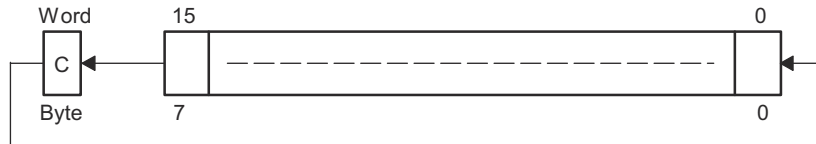


图 4-38. 目标操作数 - 带进位左移

状态位	N： 如果结果为负则置 1，如果为正则复位 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位 C： 从 MSB 载入 V： 如果一个算术溢出发生：初始值为 $04000h \leq dst < 0C000h$ ，则置 1；否则复位 如果一个算术溢出发生：初始值为 $040h \leq dst < 0C0h$ ，则置 1；否则复位
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 被左移一个位置。

```
RLC R5 ; (R5 x 2) + C -> R5
```

示例 输入 P1IN.1 信息被移入 R5 的 LSB。

```
BIT.B #2, &P1IN ; Information -> Carry
RLC R5 ; Carry=P0in.1 -> LSB of R5
```

示例 MEM(LEO) 内容被左移一个位置。

```
RLC.B LEO ; Mem(LEO) x 2 + C -> Mem(LEO)
```

备注

RLA 的替代指令

汇编程序并不识别指令：

```
RLC @R5+ RLC.B @R5+ RLC(.B) @R5
```

它们必须由以下指令替代：

```
ADDC @R5+, -2(R5) ADDC.B @R5+, -1(R5) ADDC(.B) @R5
```

4.6.2.40 RRA

RRA[W]	算术右旋目的字
RRA.B	算术右旋目的字节
语法	RRA.B dst 或 RRA.W dst
操作	MSB→MSB→MSB-1 → ...LSB+1→LSB→C
说明	如图 4-39 所示，目的操作数被用算术的方法向右移动一个位置。MSB 保持其值（符号）。RRA 运算等效于以 2 为除数进行有符号除法。MSB 被保持并且被移入 MSB-1。LSB+1 被移入 LSB。之前的 LSB 被移入进位位 C。
状态位	N： 如果结果为负 (MSB=1)，则置 1，否则 (MSB=0)复位 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位 C： 从 LSB 载入 V： 复位
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 中带符号的 16 位数被用算术的方法向右移位一个位置。

```
RRA    R5                ; R5/2 -> R5
```

示例 带符号的 RAM 字节 EDE 被用算术的方法向右移动一个位置。

```
RRA.B  EDE              ; EDE/2 -> EDE
```

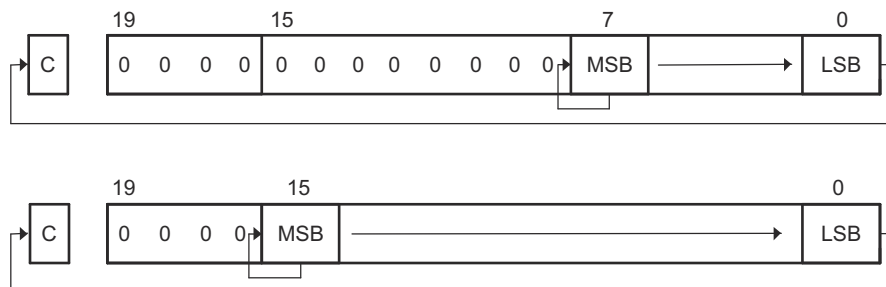


图 4-39. 算术右旋 RRA.B 和 RRA.W

4.6.2.41 RRC

RRC[W]	通过进位右旋目的字
RRC.B	通过进位目的字节右旋
语法	RRC dst 或 RRC.W dst RRC.B dst
操作	C→MSB→MSB - 1→ ...LSB+1→LSB→C
说明	如图 4-40 所示，目的操作数被向右移动一个位置。进位位 C 被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位 C。
状态位	N： 如果结果为负 (MSB=1)，则置 1，否则 (MSB=0)复位 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位 C： 从 LSB 载入 V： 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 字 EDE 被向右移位一个位的位置。将 1 载入 MSB。

```
SETC          ; Prepare carry for MSB
RRC  EDE     ; EDE = EDE >> 1 + 8000h
```

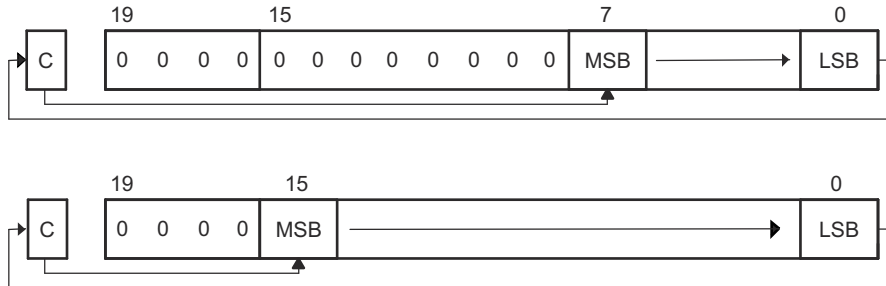


图 4-40. 通过进位 RRC.B 和 RRC.W 右旋

4.6.2.42 SBC

* SBC[W]	从目标中减去借位位 (进位位的反码)
* SBC.B	从目标中减去借位位 (进位位的反码)
语法	SBC dst 或 SBC.W dst SBC.B dst
运行	dst+0FFFFh+C→dst dst+0FFh+C→dst
仿真	SUBC #0, dst SUBC.B #0, dst
说明	进位位 (C) 被加至目的操作数减一。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负则置 1, 如果为正则复位 Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 如果无借位, 则置 1; 如果有借位, 则复位 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R13 指向的 16 位计数器被从一个 R12 指向的 32 位计数器内减去。

```

SUB    @R13,0 (R12)    ; Subtract LSDs
SBC    2 (R12)         ; Subtract carry from MSD
    
```

示例 R13 指向的 8 位计数器被从一个 R12 指向的 16 位计数器内。

```

SUB.B  @R13,0 (R12)    ; Subtract LSDs
SBC.B  1 (R12)         ; Subtract carry from MSD
    
```

备注

借位实现

借位被视为进位的反码：

借位	进位位
是	0
否	1

4.6.2.43 SETC

* SETC	设定进位位
句法	SETC
运行	1→C
仿真	BIS #1,SR
说明	进位位 (C) 被设定。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 设置 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	十进制减法的仿真： 用十进制的方法将 R5 从 R6 中减去。 假定 R5=03987h 和 R6=04137h。

```

DSUB  ADD    #06666h,R5    ; Move content R5 from 0-9 to 6-0Fh
                                ; R5 = 03987h + 06666h = 09FEDh
                                ; Invert this (result back to 0-9)
                                ; R5 = .NOT,R5 = 06012h
                                ; Prepare carry = 1
                                ; Emulate subtraction by addition of:
                                ; (010000h - R5 - 1)
                                ; R6 = R6 + R5 + 1
                                ; R6 = 0150h

```

4.6.2.44 SETN

* SETN	设定负位
句法	SETN
运行	1→N
仿真	BIS #4, SR
说明	负位 (N) 被设定。
状态位	N : 设置 Z : 不受影响 C : 不受影响 V : 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

4.6.2.45 SETZ

* SETZ	设定零位。
句法	SETZ
运行	1→N
仿真	BIS #2, SR
说明	零位 (Z) 被设定。
状态位	N: 不受影响 Z: 设置 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

4.6.2.46 SUB

SUB[W]	将源字从目的字中减去
SUB.B	将源字节从目的字节中减去
语法	SUB src,dst 或 SUB.W src,dst SUB.B src,dst
操作	(.not.src) + 1 + dst → dst 或 dst - src → dst
说明	从目的操作数中减去源操作数。通过在目的中增加源 + 1 的 1s 补数来完成。源操作数不受影响，结果被写入目的操作数。
状态位	N: 如果结果为负 (src>dst)，则置 1，如果为正则复位 (src≤dst) Z: 如果为零 (src=dst) 则置 1，否则复位 (src≠dst) C: 如果有来自 MSB 的进位，则置 1，否则复位 V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果，或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果，则置 1，否则复位 (无溢出)。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	从 RAM 字 EDE 中减去一个 16 位常数 7654h。

```
SUB    #7654h,&EDE    ; Subtract 7654h from EDE
```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被从 R7 中减去。之后，如果 R7 包含零，则跳转至标签 TONI。然后 R5 自动递增 2。R7.19:16=0

```
SUB    @R5+,R7        ; Subtract table number from R7.R5 + 2
JZ     TONI           ; R7 = @R5 (before subtraction)
...    ; R7 <> @R5 (before subtraction)
```

示例 字节 CNT 被从 R12 指向的字节内减去。CNT 的地址在 PC±32K 内。R12 指向的地址为全部存储器范围。

```
SUB.B  CNT,0(R12)    ; Subtract CNT from @R12
```

4.6.2.47 SUBC

SUBC{.W} 从目的字中减去带有进位的源字

SUBC.B 从目的字节中减去带有进位的源字节

语法 SUBC src,dst 或 SUBC.W src,dst
SUBC.B src,dst

操作 $(.not.src) + C + dst \rightarrow dst$ 或 $dst - (src - 1) + C \rightarrow dst$

说明 从目的操作数中减去源操作数。通过在目的中增加源 + 进位的 1s 补数来完成。源操作数不受影响，结果被写入目的操作数。用于 32, 48, 和 64 位操作数。

状态位 N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位

Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位

C: 如果有来自 MSB 的进位, 则置 1, 否则复位

V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果, 或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果, 则置 1, 否则复位 (无溢出)。

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 一个 16 位常数 7654h 被从带有来自之前指令进位的 R5 中减去。R5.19:16=0

```
SUBC.W #7654h,R5 ; Subtract 7654h + C from R5
```

示例 由 R5 指向的一个 48 位数 (3 个字) (20 位地址) 被从由 R7 指向的 RAM 中的一个 48 位计数器内减去。之后, R5 指向下一个 48 位数。R7 指向的地址为全部存储器范围。

```
SUB @R5+,0(R7) ; Subtract LSBs.R5 + 2
SUBC @R5+,2(R7) ; Subtract MIDs with C. R5 + 2
SUBC @R5+,4(R7) ; Subtract MSBs with C. R5 + 2
```

示例 从 R12 指向的字节中减去字节 CNT。使用之前指令的进位。CNT 的地址位于低 64KB 内。

```
SUBC.B &CNT,0(R12) ; Subtract byte CNT from @R12
```

4.6.2.48 SWPB

SWPB	交换字节
句法	SWPB dst
操作	dst.15:8↔dst.7:0
说明	操作数的高字节和低字节被交换。PC.19:16 位在寄存器模式中被清零。
状态位	状态位不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	交换 RAM 字 EDE 的字节 (低 64KB)

```
MOV    #1234h, &EDE      ; 1234h -> EDE
SWPB  &EDE              ; 3412h -> EDE
```

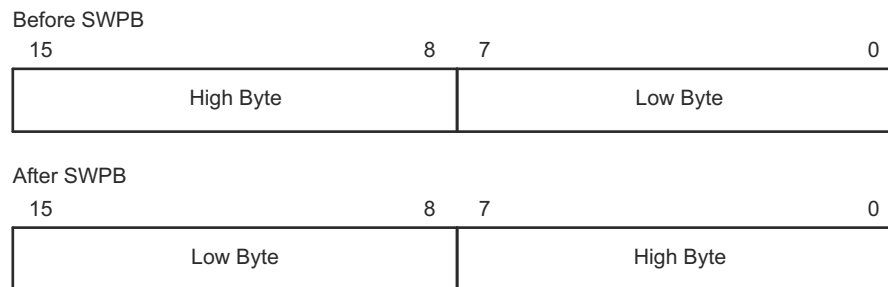


图 4-41. 交换存储器中的字节

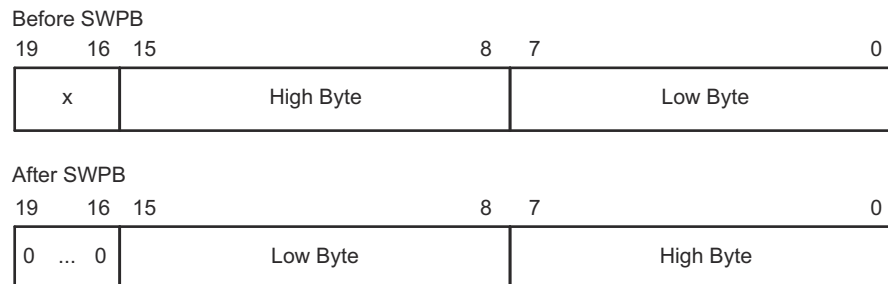


图 4-42. 交换寄存器中的字节

4.6.2.49 SXT

SXT	扩展符
语法	SXT dst
操作	dst.7→dst.15:8, dst.7→dst.19:8 (寄存器模式)
说明	寄存器模式：操作数低字节的符号被扩展至位 Rdst.19:8 内。 Rdst.7 = 0 : 之后 Rdst.19:8 = 000h Rdst.7 = 1 : 之后 Rdst.19:8 = FFFh 其它模式：操作数低字节的符号被扩展至高字节。 之后 dst.7=0: 高字节 = 00h 之后 dst.7=1: 高字节 = FFh
状态位	N : 如果结果为负则置 1, 否则复位 Z : 如果结果为零则置 1, 否则复位 C : 如果结果不为零则置 1, 否则复位 (C=NOT.Z) V : 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	EDE 内带符号的 8 位数据 (低 64KB) 是扩展符并且被增加到 R7 内的 16 位带符号数据中。

```
MOV.B  &EDE,R5      ; EDE -> R5.00XXh
SXT    R5           ; Sign extend low byte to R5.19:8
ADD    R5,R7       ; Add signed 16-bit values
```

示例 EDE 内带符号的 8 位数据 (PC+32KB) 是扩展符并且被增加到 R7 内的 20 位数据中。

```
MOV.B  EDE,R5      ; EDE -> R5.00XXh
SXT    R5           ; Sign extend low byte to R5.19:8
ADDA   R5,R7       ; Add signed 20-bit values
```

4.6.2.50 TST

* TST[W]	测试目的操作数
* TST.B	测试目的
句法	TST dst 或 TST.W dst TST.B dst
运行	dst+0FFFFh+1 dst+0FFh+1
仿真	CMP #0, dst CMP.B #0, dst
说明	目的操作数与零相比较。根据结果设置状态位。目的操作数不受影响。
状态位	N: 如果目的操作数为负则置 1, 如果为正则复位 Z: 如果目的操作数包含零则置 1, 否则复位 C: 设置 V: 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R7 被测试。如果它为负, 则继续在 R7NEG 上执行; 如果为正但又不为零, 则继续在 R7POS 上执行。

```

TST    R7        ; Test R7
JN     R7NEG     ; R7 is negative
JZ     R7ZERO    ; R7 is zero
R7POS  .....    ; R7 is positive but not zero
R7NEG  .....    ; R7 is negative
R7ZERO .....    ; R7 is zero
    
```

示例 R7 的低字节被测试。如果它为负, 则继续在 R7NEG 上执行; 如果为正但又不为零, 则继续在 R7POS 上执行。

```

TST.B  R7        ; Test low byte of R7
JN     R7NEG     ; Low byte of R7 is negative
JZ     R7ZERO    ; Low byte of R7 is zero
R7POS  .....    ; Low byte of R7 is positive but not zero
R7NEG  .....    ; Low byte of R7 is negative
R7ZERO .....    ; Low byte of R7 is zero
    
```


4.6.2.51 异或

XOR.W]	源字与目的字异或操作
XOR.B	源字节与目的字节异或操作
语法	XOR src, dst 或 XOR.W src, dst XOR.B src, dst
操作	src.xor. dst → dst
说明	源操作数和目的操作数被异或操作。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位 C: 如果结果不为零则置 1, 否则复位 (C=.NOT.Z) V: 如果两个操作数在执行前均为负则置 1, 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	将位切换为带有地址字 TONI 信息 (位=1) 的字 CNTR (16 位数据)。两个操作数都位于低 64KB 内。

```
XOR    &TONI,&CNTR    ; Toggle bits in CNTR
```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于切换 R6 中的位。R6.19:16=0

```
XOR    @R5,R6        ; Toggle bits in R6
```

示例 R7 中低字节内复位为零的那些位与位于字节 EDE 内的位不同。R7.19:8 = 0。EDE 的地址在 PC±32K 内。

```
XOR.B  EDE,R7        ; Set different bits to 1 in R7.
INV.B  R7             ; Invert low byte of R7, high byte is 0h
```

4.6.3 MSP430X 扩展指令

MSP430X 扩展指令使得 MSP430X CPU 可完全访问其 20 位地址范围。MSP430X 指令要求一个被称为扩展字的运算代码的附加字。当前面为扩展字时，所有地址、索引、和立即数有 20 位的值。在下面的部分中对 MSP430X 扩展指令进行了说明。对于不需要扩展字的 MSP430X 指令，在指令说明中进行了相关说明。

MSP430X 指令请参阅节 4.6.2，而 MSP430X 寻址指令请参阅节 4.6.4。

4.6.3.1 ADCX

* ADCX.A	将进位增加到目的地址字
* ADCX.[W]	将进位增加到目的字节
* ADCX.B	将进位增加到目的字节
语法	ADCX.A dst ADCX dst 或 ADCX.W dst ADCX.B dst
运行	dst+C→dst
仿真	ADDCX.A #0, dst ADDCX #0, dst ADDCX.B #0, dst
说明	进位位 (C) 被增加到目的操作数。目的操作数的之前内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 V: 如果两个正操作数的结果为负, 或者如果两个负数的结果为正, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R12 和 R13 指向的 40 位计数器被递增。

```

INCX.A @R12 ; Increment lower 20 bits
ADCX.A @R13 ; Add carry to upper 20 bits

```

4.6.3.2 ADDX

ADDX.A 将源地址字加入目的地址字

ADDX.[W] 将源字加入至目的字

ADDX.B 将源字节加至目的字节

语法

```
ADDX.A src,dst
ADDX src,dst 或 ADDX.W src,dst
ADDX.B src,dst
```

运行

src+dst→dst

说明

源操作数被添加到目的操作数。目的操作数之前的内容丢失。两个操作数都被放置在完全地址空间内。

状态位

N: 如果结果为负 (**MSB=1**)，则置 **1**，如果为正 (**MSB=0**)，则复位
Z: 如果结果为零，则置 **1**；否则复位
C: 如果结果的 **MSB** 有进位，则置 **1**；否则复位
V: 如果两个正操作数的结果为负，或者如果两个负数的结果为正，则置 **1**；否则复位

模式位

OSCOFF，**CPUOFF** 和 **GIE** 不受影响。

示例

位于两个字 **CNTR** (**LSB**) 和 **CNTR+2** (**MSB**) 内的 **20** 位指针 **CNTR** 加 **10**。

```
ADDX.A #10,CNTR ; Add 10 to 20-bit pointer
```

示例

R5 (**20** 位地址) 指向的一个表格字节 (**16** 位) 被加入到 **R6**。在一个进位上执行跳转到标签 **TONI**。

```
ADDX.W @R5,R6 ; Add table word to R6
JC TONI ; Jump if carry
... ; No carry
```

示例

R5 (**20** 位地址) 指向的一个表格字节被加入到 **R6**。如果没有进位发生，执行到标签 **TONI** 的跳转。表格指针自动加 **1**。

```
ADDX.B @R5+,R6 ; Add table byte to R6.R5 + 1.R6: 000xxh
JNC TONI ; Jump if no carry
... ; Carry occurred
```

注意：在以下两种情况下使用 **ADDA** 以实现更佳代码密度和执行。

```
ADDX.A Rsrc,Rdst
ADDX.A #imm20,Rdst
```

4.6.3.3 ADDCX

ADDCX.A	将源地址字和进位加入目的地址字
ADDCX.[W]	将源字和进位加入目的字
ADDCX.B	将源字节和进位加入目的字节
语法	ADDCX.A src,dst ADDCX src,dst 或 ADDCX.W src,dst ADDCX.B src,dst
运行	src+dst+C→dst
说明	源操作数和进位位 C 被加入到目的操作数。目的操作数之前的内容丢失。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 V: 如果两个正操作数的结果为负, 或者如果两个负数的结果为正, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	常数值 15 和之前指令的进位被加入到位于两个字内的 20 位计数器 CNTR 内。

```
ADDCX.A #15,&CNTR ; Add 15 + C to 20-bit CNTR
```

示例 由 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 和进位 C 被加入 R6。在一个进位上执行跳转到标签 TONI。

```
ADDCX.W @R5,R6 ; Add table word + C to R6
JC TONI ; Jump if carry
... ; No carry
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的表格字节和进位位 C 被加入到 R6。如果没有进位发生, 执行到标签 TONI 的跳转。表格指针自动加 1。

```
ADDCX.B @R5+,R6 ; Add table byte + C to R6.R5 + 1
JNC TONI ; Jump if no carry
... ; Carry occurred
```

4.6.3.4 ANDX

ANDX.A	源地址字与目的地址字的逻辑与
ANDX.[W]	源字与目的字的逻辑与 (AND)
ANDX.B	源字节与目的字节的逻辑 AND
语法	ANDX.A src,dst ANDX src,dst 或 ANDX.W src,dst ANDX.B src,dst
操作	src.and.dst → dst
说明	源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数中。源操作数不受影响。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位。C=(.not.Z) V: 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 (20 位数据) 中置 1 的位被用作一个针对两个字内地址字 TOM 的掩码 (AAA55h)。如果结果为零, 一个分支指令被指向标签 TONI。

```

MOVA    #AAA55h,R5      ; Load 20-bit mask to R5
ANDX.A  R5,TOM          ; TOM .and.R5 -> TOM
JZ      TONI            ; Jump if result 0
...

```

或更短:

```

ANDX.A  #AAA55h,TOM     ; TOM .and.AAA55h -> TOM
JZ      TONI            ; Jump if result 0

```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被与 R6 逻辑与。R6.19:8 = 0.表格指针自动加 1。

```

ANDX.B  @R5+,R6        ; AND table byte with R6.R5 + 1

```

4.6.3.5 BICX

BICX.A	清零目的地址字中源地址字内置 1 的位
BICX.[W]	清零目的字中源字内置 1 的位
BICX.B	清零目的字节中源字节内置 1 的位
语法	BICX.A src,dst BICX src,dst 或 BICX.W src,dst BICX.B src,dst
操作	(.not. src) .and. dst → dst
说明	被反转的源操作数和目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 (20 位数据) 的位 19:15 被清零。

```
BICX.A #0F8000h,R5 ; Clear R5.19:15 bits
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字被用于清零 R7 中的位。R7.19:16=0

```
BICX.W @R5,R7 ; Clear bits in R7
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用来清零输出 Port1 中的位。

```
BICX.B @R5,&P1OUT ; Clear I/O port P1 bits
```

4.6.3.6 BISX

BISX.A	将在目的地址字中源地址字内置 1 的位置 1
BISX.[W]	将在目的字中源字内置 1 的位置 1
BISX.B	将在目的字节中源字节内置 1 的位置 1
语法	BISX.A src,dst BISX src,dst 或 BISX.W src,dst BISX.B src,dst
操作	src.or.dst → dst
说明	源操作数与目的操作数被逻辑与。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 不受影响 Z: 不受影响 C: 不受影响 V: 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 (20 位数据) 的位 16 和位 15 被置 1。

```
BISX.A #018000h,R5 ; Set R5.16:15 bits
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字被用于将 R7 中的位置 1。

```
BISX.W @R5,R7 ; Set bits in R7
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用来将输出 Port1 中的位置 1。

```
BISX.B @R5,&P1OUT ; Set I/O port P1 bits
```


4.6.3.7 BITX

BITX.A	测试在目的地址字中源地址字内置 1 的位
BITX.[W]	测试在目的字中源字内置 1 的位
BITX.B	测试在目的字节中源字节内置 1 的位
语法	BITX.A src,dst BITX src,dst 或 BITX.W src,dst BITX.B src,dst
操作	src.and.dst → dst
说明	源操作数与目的操作数被逻辑与。结果只影响状态位。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位。C=(.not.Z) V: 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	测试是否 R5 (20 位数据) 的为 16 和 15 被置 1。如果被置 1, 则跳转至标签。

```
BITX.A #018000h,R5 ; Test R5.16:15 bits
JNZ TONI ; At least one bit is set
... ; Both are reset
```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于测试 R7 中的位。如果至少一个位被置 1, 则跳转至标签 TONI。

```
BITX.W @R5,R7 ; Test bits in R7: C = .not.Z
JC TONI ; At least one is set
... ; Both are reset
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节被用来测试输入 Port1 中的位。如果没有位被置 1, 则跳转至标签 TONI。下一个表格字节被寻址。

```
BITX.B @R5+,&P1IN ; Test input P1 bits.R5 + 1
JNC TONI ; No corresponding input bit is set
... ; At least one bit is set
```

4.6.3.8 CLRX

* CLRX.A	清零目的地址字
* CLRX.[W]	清零目的字
* CLRX.B	清零目的字节
语法	CLRX.A dst CLRX dst 或 CLRX.W dst CLRX.B dst
运行	0→dst
仿真	MOVX.A #0, dst MOVX #0, dst MOVX.B #0, dst
说明	目的操作数被清零。
状态位	状态位不受影响。
示例	RAM 地址字 TONI 被清零。

```
CLRX.A    TONI    ; 0 -> TONI
```

4.6.3.9 CMPX

CMPX.A 将源地址字与目的地址字相比较

CMPX.[W] 将源字与目的字相比较

CMPX.B 将源字节与目的字节相比较

语法 CMPX.A src,dst

CMPX src,dst 或 CMPX.W src,dst

CMPX.B src,dst

操作 (.not. src) + 1 + dst 或 dst - src

说明 通过将源 + 1 的 1s 补数加入目的，源操作数被从目的操作数中刨除。结果只影响状态位。两个操作数都位于完全地址空间内。

状态位 N： 如果结果为负 (src>dst)，则置 1，如果为正，则复位 (src≤dst)

Z： 如果为零 (src=dst)，则置 1；否则复位 (src≠dst)

C： 如果 MSB 有进位，则置 1；否则复位

V： 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果，或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果，则置 1；否则复位（无溢出）。

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将 EDE 与一个 20 位常数 18000h 相比较。如果 EDE 等于常数则跳转至标签 TONI。

```
CMPX.A #018000h,EDE ; Compare EDE with 18000h
JEQ TONI ; EDE contains 18000h
...
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字与 R7 相比较。如果 R7 包含一个较低的、带符号的 16 位数，则跳转至标签 TONI。

```
CMPX.W @R5,R7 ; Compare two signed numbers
JL TONI ; R7 < @R5
...
```

示例 由 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字节与输入到 I/O Port1 中的值相比较。如果这两个值相等，则跳转至标签 TONI。下一个表格字节被寻址。

```
CMPX.B @R5+,&P1IN ; Compare P1 bits with table.R5 + 1
JEQ TONI ; Equal contents
...
```

注意：在以下两种情况下使用 CMPA 以实现最佳的密度和执行。

```
CMPA Rsrc,Rdst
CMPA #imm20,Rdst
```

4.6.3.10 DADCX

* DADCX.A	将十进制进位增加到目的地址字
* DADCX.[W]	将十进制进位增加到目的字
* DADCX.B	将十进制进位增加到目的字节
语法	DADCX.A dst DADCX dst 或 DADCX.W dst DADCX.B dst
运行	dst+C→dst (用十进制)
仿真	DADDX.A #0, dst DADDX #0, dst DADDX.B #0, dst
说明	十进制进位位 (C) 被加入到目的操作数中。
状态位	N: 如果结果的 MSB 为 1 (地址字 > 79999h, 字 > 7999h, 字节 > 79h), 则置 1, 如果 MSB 为 0, 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果 BCD 结果太大 (地址字 > 99999h, 字 > 9999h, 字节 > 99h), 则置 1; 否则复位 V: 未定义
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R12 和 R13 指向的 40 位计数器被用十进制方法递增。

```
DADDX.A #1,0(R12) ; Increment lower 20 bits
DADCX.A 0(R13) ; Add carry to upper 20 bits
```

4.6.3.11 DADDX

DADDX.A	将源地址字和进位用十进制方法加入目的地址字
DADDX.[W]	增加源字和十进制进位至目的字
DADDX.B	增加源字节和十进制进位至目的字节
语法	DADDX.A src,dst DADDX src,dst 或 DADDX.W src,dst DADDX.B src,dst
运行	src+dst+C→dst (用十进制)
说明	源操作数和目的操作数被视为具有正符号的两个 (.B), 四个 (.W) 或五个 (.A) 的二进制编码的十进制 (BCD) 数。源操作数和进位位 C 以十进制格式加到目标操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。此结果不针对非 BCD 数定义。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 如果结果的 MSB 为 1 (地址字 > 79999h, 字 > 7999h, 字节 > 79h), 则置 1, 如果 MSB 为 0, 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果 BCD 结果太大 (地址字 > 99999h, 字 > 9999h, 字节 > 99h), 则置 1; 否则复位 V: 未定义
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	十进制 10 被加入到位于两个字内的 20 位 BCD 计数器 DECCNTR 内。

```
DADDX.A #10h,&DECCNTR ; Add 10 to 20-bit BCD counter
```

示例 包含在 20 位地址 BCD 和 BCD+2 中的 8 位 BCD 数被用十进制加入到包含在 R4 和 R5 中的一个 8 位 BCD 数中 (BCD+2 和 R5 包含 MSD)。

```
CLRC ; Clear carry
DADDX.W BCD,R4 ; Add LSDs
DADDX.W BCD+2,R5 ; Add MSDs with carry
JC OVERFLOW ; Result >99999999: go to error routine
... ; Result ok
```

示例 包含在 20 位地址 BCD 中的两位 BCD 数被用十进制增加到包含在 R4 中的一个两位 BCD 数中。

```
CLRC ; Clear carry
DADDX.B BCD,R4 ; Add BCD to R4 decimally.
; R4: 000ddh
```

4.6.3.12 DECX

* DECX.A	递减目的地址字
* DECX.[W]	递减目的字
* DECX.B	递减目的字节
语法	DECX.A dst DECX dst 或 DECX.W dst DECX.B dst
操作	$dst - 1 \rightarrow dst$
仿真	SUBX.A #1, dst SUBX #1, dst SUBX.B #1, dst
说明	目的操作数减 1。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 1, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 包含 0, 则复位; 否则置 1 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 地址字 TONI 减 1。

```
DECX.A TONI ; Decrement TONI
```

4.6.3.13 DECDX

* DECDX.A	双递减目的地址字
* DECDX.[W]	双递减目的字
* DECDX.B	双递减目的字节
语法	DECDX.A dst DECDX dst 或 DECDX.W dst DECDX.B dst
操作	dst - 2 → dst
仿真	SUBX.A #2, dst SUBX #2, dst SUBX.B #2, dst
说明	目的操作数递减 2。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 2, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 包含 0, 则复位; 否则置 1 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 地址字 TONI 递减 2。

```
DECDX.A TONI ; Decrement TONI
```

4.6.3.14 INCX

* INCX.A	递增目的地址字
* INCX.[W]	递增目的字
* INCX.B	递增目的字节
语法	INCX.A dst INCX dst 或 INCX.W dst INCX.B dst
运行	dst +1 → dst
仿真	ADDX.A #1, dst ADDX #1, dst ADDX.B #1, dst
说明	目的操作数被递增 1。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 0FFFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位 C: 如果 dst 包含 0FFFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位 V: 如果 dst 包含 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07Fh, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 地址字 TONI 加 1。

```
INCX.A  TONI      ; Increment TONI (20-bits)
```


4.6.3.15 INCDX

* INCDX.A	双递增目的地址字
* INCDX.[W]	双递增目的字
* INCDX.B	双递增目的字节
语法	INCDX.A dst INCDX dst 或 INCDX.W dst INCDX.B dst
运行	dst + 2 → dst
仿真	ADDX.A #2, dst ADDX #2, dst ADDX.B #2, dst
说明	目的操作数被递增 2。原先的内容丢失。
状态位	N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z : 如果 dst 包含 0FFFFEh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFFEh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FEh, 则置 1; 否则复位 C : 如果 dst 包含 0FFFFEh 或 0FFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFFEh 或 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FEh 或 0FFh, 则置 1; 否则复位 V : 如果 dst 包含 07FFFEh 或 07FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07FFEh 或 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 07Eh 或 07Fh, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	RAM 字节 LEO 递增 2; PC 指向上部存储器。

```
INCDX.B LEO ; Increment LEO by two
```

4.6.3.16 INVX

* INVX.A	反转目的
* INVX.[W]	反转目的
* INVX.B	反转目的
句法	INVX.A dst INVX dst 或 INVX.W dst INVX.B dst
运行	.NOT.dst→dst
仿真	XORX.A #0FFFFh, dst XORX #0FFFFh, dst XORX.B #0FFh, dst
说明	目的操作数被反转。原先的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位 Z: 如果 dst 包含 0FFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 dst 包含 0FFh, 则置 1; 否则复位 C: 如果结果不为零, 则置 1; 否则复位 (=NOT.零) V: 如果初始目的操作数为负, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 的 20 位内容被求反 (2s 补数)。

```
INVX.A  R5      ; Invert R5
INCX.A  R5      ; R5 is now negated
```

示例 存储器字节 LEO 的内容被求反。PC 正指向上部存储器。

```
INVX.B  LEO     ; Invert LEO
INCX.B  LEO     ; MEM(LEO) is negated
```

4.6.3.17 MOVX

MOVX.A 将源地址字移至目的地址字

MOVX.[W] 将源字移动到目的字

MOVX.B 将源字节移动到目的字节

语法 MOVX.A src,dst
MOVX src,dst 或 MOVX.W src,dst
MOVX.B src,dst

运行 src→dst

说明 源操作数被复制到目的操作数。源操作数不受影响。两个操作数都位于完全地址空间内。

状态位 N: 不受影响

Z: 不受影响

C: 不受影响

V: 不受影响

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将一个 20 位常数 18000h 移动到绝对地址字 EDE

```
MOVX.A    #018000h,&EDE           ; Move 18000h to EDE
```

示例 表 EDE 的内容 (字数据, 20 位地址) 被复制到表 TOM。表的长度为 030h 字。

```
Loop MOVX.W    #EDE,R10           ; Prepare pointer (20-bit address)
      MOVX.W    @R10+,TOM-EDE-2 (R10) ; R10 points to both tables.
      ; R10+2
      CMPA     #EDE+60h,R10       ; End of table reached?
      JLO     Loop                ; Not yet
      ...                          ; Copy completed
```

示例 表 EDE 的内容 (字节数据, 20 位地址) 被复制到表 TOM。表的长度为 020h 字节。

```
Loop MOVX.W    #EDE,R10           ; Prepare pointer (20-bit)
      MOV     #20h,R9             ; Prepare counter
      MOVX.W    @R10+,TOM-EDE-2 (R10) ; R10 points to both tables.
      ; R10+1
      DEC     R9                  ; Decrement counter
      JNZ     Loop                ; Not yet done
      ...                          ; Copy completed
```

MOVX.A 指令的 28 个可能寻址组合中的 10 个可使用 MOVX 指令。这节省了两个字节和代码周期。寻址组合的示例如下：

MOVX.A	Rsrc,Rdst	MOVX	Rsrc,Rdst	; Reg/Reg
MOVX.A	#imm20,Rdst	MOVX	#imm20,Rdst	; Immediate/Reg
MOVX.A	&abs20,Rdst	MOVX	&abs20,Rdst	; Absolute/Reg
MOVX.A	@Rsrc,Rdst	MOVX	@Rsrc,Rdst	; Indirect/Reg
MOVX.A	@Rsrc+,Rdst	MOVX	@Rsrc+,Rdst	; Indirect,Auto/Reg
MOVX.A	Rsrc,&abs20	MOVX	Rsrc,&abs20	; Reg/Absolute

只有当 16 位索引已能满足寻址需求时, 下四个复位才可行：

MOVX.A	z20 (Rsrc),Rdst	MOVX	z16 (Rsrc),Rdst	; Indexed/Reg
MOVX.A	Rsrc,z20 (Rdst)	MOVX	Rsrc,z16 (Rdst)	; Reg/Indexed
MOVX.A	symb20,Rdst	MOVX	symb16,Rdst	; Symbolic/Reg
MOVX.A	Rsrc,symb20	MOVX	Rsrc,symb16	; Reg/Symbolic

4.6.3.18 POPM

POPM.A 从堆栈中恢复 n 个 CPU 寄存器 (20 位数据)

POPM.[W] 从堆栈中恢复 n 个 CPU 寄存器 (16 位数据)

语法 POPM.A #n,Rdst 1≤n≤16
 POPM.W #n,Rdst 或 POPM #n,Rdst 1≤n≤16

操作 POPM.A : 将寄存器值从堆栈恢复到指定的 CPU 寄存器。针对每个从堆栈中恢复的寄存器, SP 增 4。堆栈 (每寄存器两个字) 的 20 位值被恢复至寄存器。
 POPM.W : 将 16 位寄存器值从堆栈恢复到指定的 CPU 寄存器。针对每个从堆栈中恢复的寄存器, SP 增 2。堆栈 (每寄存器一个字) 的 16 位值被恢复至 CPU 寄存器。

注意: 该指令不使用扩展字。

说明 POPM.A : 从 CPU 寄存器 (Rdst - n + 1) 开始, 压入堆栈的 CPU 寄存器被移动到扩展 CPU 寄存器。运算后, SP 增加 (nx4)。

POPM.W : 从 CPU 寄存器 (Rdst - n + 1) 开始, 压入堆栈的 16 位寄存器被移回 CPU 寄存器。运算后, SP 增加 (nx2)。被恢复 CPU 寄存器的 MSB (Rdst.19:16) 被清零。

状态位 状态位不受影响, 除了包含在运算中的 SR。

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 从堆栈恢复 20 位寄存器 R9, R10, R11, R12, R13。

```
POPM.A #5,R13 ; Restore R9, R10, R11, R12, R13
```

示例 从堆栈恢复 16 位寄存器 R9, R10, R11, R12, R13。

```
POPM.W #5,R13 ; Restore R9, R10, R11, R12, R13
```

4.6.3.19 PUSHM

PUSHM.A	在堆栈上保存 n 个 CPU 寄存器 (20 位数据)	
PUSHM.[W]	在堆栈上保存 n 个 CPU 寄存器 (16 位数据)	
语法	PUSHM.A # n ,Rdst	$1 \leq n \leq 16$
	PUSHM.W # n ,Rdst 或 PUSHM # n ,Rdst	$1 \leq n \leq 16$
操作	<p>PUSHM.A : 将 20 位 CPU 寄存器值保存在堆栈中。对于每个存储在堆栈上的寄存器, SP 减 4。MSB 被首先存储 (较高地址)。</p> <p>PUSHM.W : 将 16 位 CPU 寄存器值保存在堆栈中。对于每个存储在堆栈上的寄存器, SP 减 2。</p>	
说明	<p>PUSHM.A : 将从 Rdst 开始向后的 n 个 CPU 寄存器存储在堆栈中。运算后, SP 减少 ($nx4$)。被压入的 CPU 寄存器的数据 (Rn.19:0) 不受影响。</p> <p>PUSHM.W : 将从 Rdst 开始向后的 n 个寄存器存储在堆栈中。运算后, SP 减少 ($nx2$)。被压入的 CPU 寄存器的数据 (Rn.19:0) 不受影响。</p> <p>注意: 该指令不使用扩展字。</p>	
状态位	状态位不受影响。	
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。	
示例	在堆栈上保存 5 个 20 位寄存器 R9, R10, R11, R12, R13。	
	<pre>PUSHM.A #5,R13 ; Save R13, R12, R11, R10, R9</pre>	
示例	在堆栈上保存 5 个 16 位寄存器 R9, R10, R11, R12, R13。	
	<pre>PUSHM.W #5,R13 ; Save R13, R12, R11, R10, R9</pre>	

4.6.3.20 POPX

* **POPX.A** 从堆栈恢复单个地址字

* **POPX.[W]** 从堆栈恢复单个字

* **POPX.B** 从堆栈恢复单个字节

语法 POPX.A dst

POPX dst 或 POPX.W dst

POPX.B dst

操作 将 8/16/20 位值从堆栈恢复到目标。可使用 20 位数据。SP 加 2 (字节和字操作数) 和加 4 (地址字操作数) 。

仿真 MOVX (.B, .A) @SP+, dst

说明 TOS 上的项目被写入目的操作数。可使用寄存器模式、已索引模式、符号模式、和绝对模式。SP 加 2 或者加 4。

注意：对于字节操作，SP 也递增二。

状态位 状态位不受影响。

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将 TOS 上的 16 位值写入 20 位地址 &EDE。

```
POPX.W    &EDE    ; Write word to address EDE
```

示例 将 TOS 上的 20 位值写入 R9

```
POPX.A    R9      ; Write address-word to R9
```

4.6.3.21 PUSHX

PUSHX.A 将单地址字保存至堆栈

PUSHX.[W] 将单字写入堆栈

PUSHX.B 将单字节写入堆栈

语法
 PUSHX.A src
 PUSHX src 或 PUSHX.W src
 PUSHX.B src

操作 将源操作数的 8/16/20 位值保存在 TOS 中。可使用 20 位地址。写入操作前，SP 减 2 (字节和字操作数) 和减 4 (地址字操作数)。

说明 SP 减 2 (字节和字操作数) 或减 4 (地址字操作数)。然后源操作数被写入 TOS。对于源操作数，所有七个寻址模式均可使用。

状态位 状态位不受影响。

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将字节保存在堆栈上的 20 位地址 &EDE 内。

```
PUSHX.B    &EDE    ; Save byte at address EDE
```

示例 将 20 位值保存在堆栈上的 R9 中。

```
PUSHX.A    R9      ; Save address-word in R9
```

4.6.3.22 RLAM

RLAM.A	算术左旋 20 位 CPU 寄存器内容
RLAM.[W]	算术左旋 16 位 CPU 寄存器内容
语法	RLAM.A #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4 RLAM.W #n,Rdst 或 RLAM #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4
操作	C ← MSB ← MSB-1 ... LSB+1 ← LSB ← 0
说明	如 图 4-43 所示，目的操作数被用算术的方法左移 1, 2, 3 或 4 个位位置。RLAM 运行为一个 2, 4, 8 或 16 的倍乘（带符号和不带符号的）。字指令 RLAM.W 清零位 Rdst.19:16。 注意：该指令不使用扩展字。
状态位	N： 如果结果为负则置 1 A： Rdst.19 = 1，如果 Rdst.19 = 0，则复位 .W： Rdst.15 = 1，如果 Rdst.15 = 0，则复位 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位 C： 从 MSB (n=1)，MSB-1 (n=2)，MSB-2 (n=3)，MSB-3 (n=4) 载入 V： 未定义
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 中的 20 位操作数被左移三个位置。它的操作与一个算术 8 倍乘等效。

```
RLAM.A #3,R5 ; R5 = R5 x 8
```

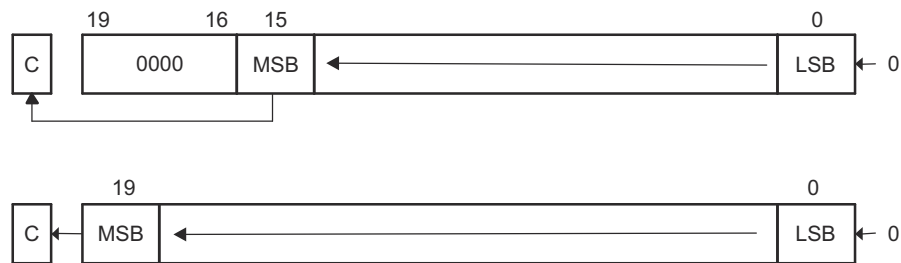


图 4-43. 用算术的方法左移 - RLAM.[W] 和 RLAM.A

4.6.3.23 RLAX

* RLAX.A	算术左旋地址字
* RLAX.[W]	算术左旋字
* RLAX.B	算术左旋字节
语法	RLAX.A dst RLAX dst 或 RLAX.W dst RLAX.B dst
操作	$C \leftarrow MSB \leftarrow MSB-1 \dots LSB+1 \leftarrow LSB \leftarrow 0$
仿真	ADDX.A dst, dst ADDX dst, dst ADDX.B dst, dst
说明	目的操作数如图 4-44 中显示的那样左移一个位置。MSB 被移入进位位 (C)，而 LSB 用 0 填充。RLAX 指令运行为一个带符号的 2 倍乘。
状态位	N: 如果结果为负则置 1，如果为正则复位 Z: 如果结果为零则置 1，否则复位 C: 从 MSB 载入 V: 如果一个算术溢出发生：初始值为 $040000h \leq dst < 0C0000h$ ，则置 1；否则复位 如果一个算术溢出发生：初始值为 $04000h \leq dst < 0C000h$ ，则置 1；否则复位 如果一个算术溢出发生：初始值为 $040h \leq dst < 0C0h$ ，则置 1；否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R7 中的 20 位值乘以 2。

RLAX.A R7 ; Shift left R7 (20-bit)

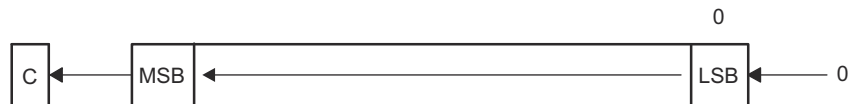


图 4-44. 目标操作数 - 算术左移

4.6.3.24 RLCX

* RLCX.A	通过进位地址字左旋
* RLCX.[W]	通过进位字左旋
* RLCX.B	通过进位字节左旋
语法	RLCX.A dst RLCX dst 或 RLCX.W dst RLCX.B dst
操作	$C \leftarrow MSB \leftarrow MSB-1 \dots LSB+1 \leftarrow LSB \leftarrow C$
仿真	ADDCX.A dst, dst ADDCX dst, dst ADDCX.B dst, dst
说明	如图 4-45 中所示, 目的操作数向左移动一个位置。进位位 (C) 被移入 LSB, 而 MSB 被移入进位位 (C)。
状态位	N: 如果结果为负则置 1, 如果为正则复位 Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位 C: 从 MSB 载入 V: 如果一个算术溢出发生: 初始值为 $040000h \leq dst < 0C0000h$, 则置 1; 否则复位 如果一个算术溢出发生: 初始值为 $04000h \leq dst < 0C000h$, 则置 1; 否则复位 如果一个算术溢出发生: 初始值为 $040h \leq dst < 0C0h$, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 中的 20 位值被向左移动一个位置。

```
RLCX.A R5 ; (R5 x 2) + C -> R5
```

示例 RAM 字节 LEO 被向左移位一个位置。PC 正指向上部存储器。

```
RLCX.B LEO ; RAM(LEO) x 2 + C -> RAM(LEO)
```

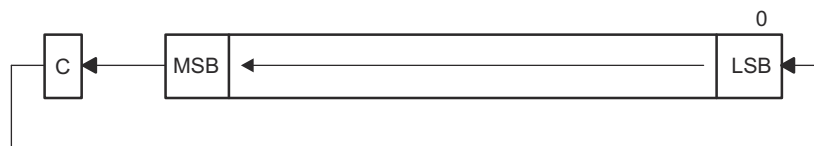


图 4-45. 目标操作数 - 带进位左移

4.6.3.25 RRAM

RRAM.A 算术右旋 20 位 CPU 内容

RRAM.[W] 算术右旋 16 位 CPU 内容

语法 RRAM.A #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4
RRAM.W #n,Rdst 或 RRAM #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4

操作 MSB → MSB → MSB-1 → ... LSB+1 → LSB → C

说明 如图 4-46 所示，目的操作数被用算术的方法右移 1, 2, 3 或 4 个位位置。MSB 保持其值 (符号)。RRAM 的运行与一个带符号的 2/4/8/16 除法等效。MSB 被保持并且被移入 MSB-1。LSB+1 被移入 LSB，而 LSB 被移入进位位 C。字指令 RRAM.W 清零位 Rdst.19:16。

注意：该指令不使用扩展字。

状态位 N： 如果结果为负则置 1
.A： Rdst.19 = 1，如果 Rdst.19 = 0，则复位
.W： Rdst.15 = 1，如果 Rdst.15 = 0，则复位
Z： 如果结果为零则置 1，否则复位
C： 从 LSB (n=1)，LSB+1 (n=2)，LSB+2 (n=3)，或 LSB+3 (n=4) 载入
V： 复位

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 R5 中带符号的 20 位数被用算术的方法向右移位两个位置。

```
RRAM.A #2,R5 ; R5/4 -> R5
```

示例 R15 中的有符号 20 位值乘以 0.75。(0.5+0.25)×R15。

```
PUSHM.A #1,R15 ; Save extended R15 on stack
RRAM.A #1,R15 ; R15 y 0.5 -> R15
ADDX.A @SP+,R15 ; R15 y 0.5 + R15 = 1.5 y R15 -> R15
RRAM.A #1,R15 ; (1.5 y R15) y 0.5 = 0.75 y R15 -> R15
```

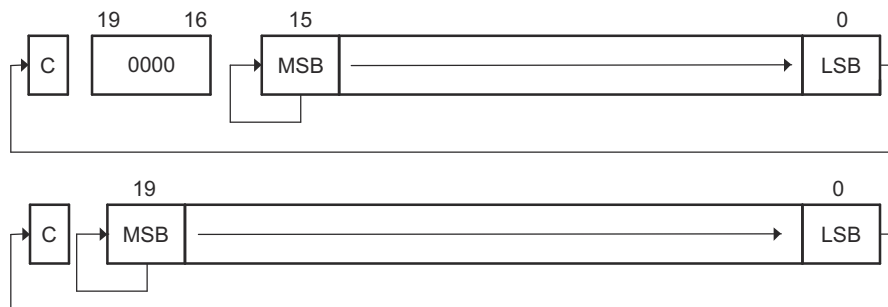


图 4-46. 算术右旋 RRAM.[W] 和 RRAM.A

4.6.3.26 RRAX

RRAX.A 算术右旋 20 位操作数

RRAX.[W] 算术右旋 16 位操作数

RRAX.B 算术右旋 8 位操作数

语法

```
RRAX.A Rdst
RRAX.W Rdst
RRAX Rdst
RRAX.B Rdst

RRAX.A dst
RRAX dst 或 RRAX.W dst
RRAX.B dst
```

操作 MSB→MSB→MSB-1→ ...LSB+1→LSB→C

说明

针对目的操作数的寄存器模式：如图 4-47 所示，目的操作数右移一个位位置。MSB 保持其值（符号）。字指令 RRAX.W 清除位 Rdst.19:16，字节指令 RRAX.B 清除位 Rdst.19:8。MSB 保持其值（符号），LSB 被移入进位位。RRAX 的运行与带符号的被 2 除等效。

针对目的操作数的所有其它模式：如图 4-48 所示，目的操作数被算术右移一个位位置。MSB 保持其值（符号），LSB 被移入进位位。RRAX 的运行与带符号的被 2 除等效。除立即模式之外的所有寻址模式可在整个存储器内使用。

状态位

N： 如果结果为负则置 1，如果为正则复位

.A: dst.19=1，如果 dst.19=0 则复位

.W: dst.15=1，如果 dst.15=0 则复位

.B: dst.7=1，如果 dst.7=0 则复位

Z： 如果结果为零则置 1，否则复位

C： 从 LSB 载入

V： 复位

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 R5 中带符号的 20 位数被用算术右移位一个位置。

```
RPT        #4
RRAX.A    R5            ; R5/16 -> R5
```

示例 EDE 中的带符号 8 位值乘以 0.5。

```
RRAX.B    &EDE        ; EDE/2 -> EDE
```

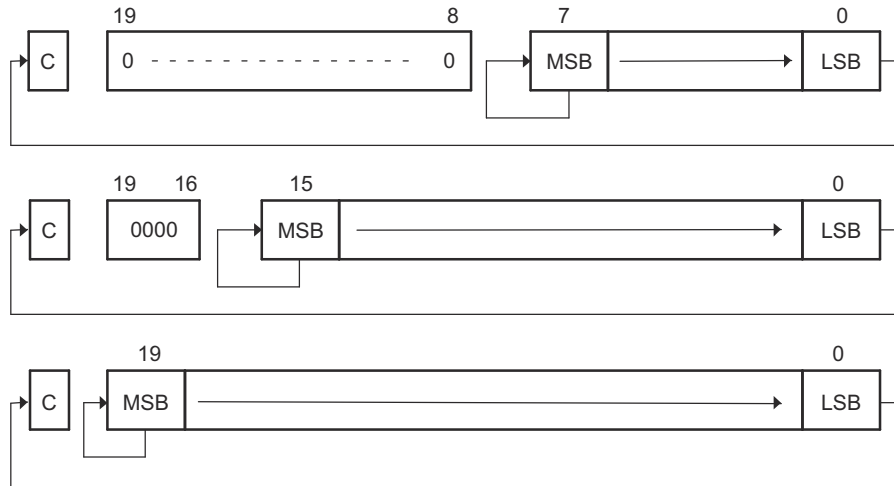


图 4-47. 算术右旋 RRAX (.B , .A) - 寄存器模式

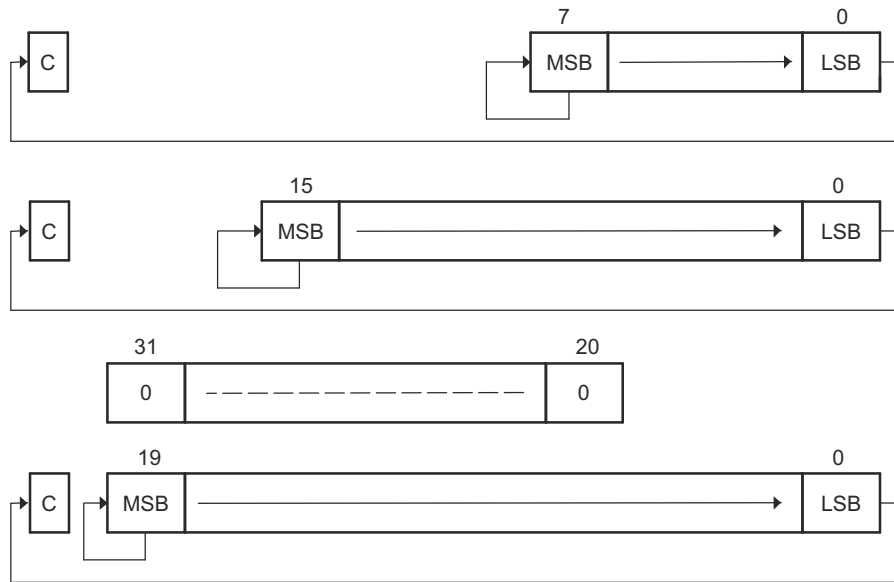


图 4-48. 算术右旋 RRAX (.B , .A) - 非寄存器模式

4.6.3.27 RRCM

RRCM.A 通过进位 20 位 CPU 寄存器内容右旋

RRCM.[W] 通过进位 16 位 CPU 寄存器内容右旋

语法 RRCM.A #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4
 RRCM.W #n,Rdst 或 RRCM #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4

操作 C → MSB → MSB-1 → ... LSB+1 → LSB → C

说明 如图 4-49 所示，目的操作数右移 1, 2, 3 或 4 个位位置。进位位 C 被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位。字指令 RRCM.W 清零位 Rdst.19:16。

注意：该指令不使用扩展字。

状态位 N： 如果结果为负则置 1
 .A： Rdst.19 = 1，如果 Rdst.19 = 0，则复位
 .W： Rdst.15 = 1，如果 Rdst.15 = 0，则复位
 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位
 C： 从 LSB (n=1)，LSB+1 (n=2)，LSB+2 (n=3)，或 LSB+3 (n=4) 载入
 V： 复位

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 R5 中的地址字被右移三个位置。将 1 载入 MSB-2。

```
SETC          ; Prepare carry for MSB-2
RRCM.A #3,R5 ; R5 = R5 » 3 + 20000h
```

示例 R6 中的地址字被右移两个位置。将 LSB 载入 MSB。将进位标志载入 MSB-1。

```
RRCM.W #2,R6 ; R6 = R6 » 2.R6.19:16=0
```

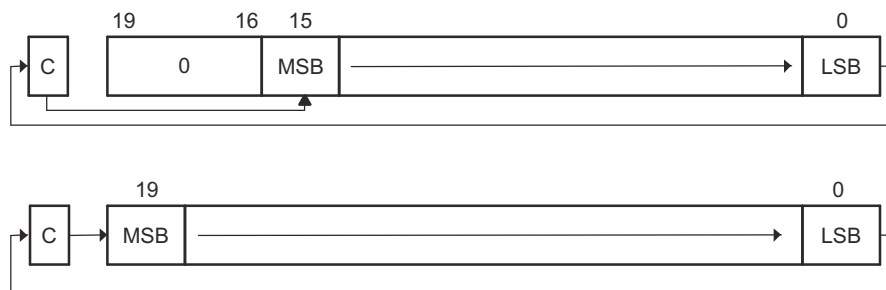


图 4-49. 通过进位 RRCM.[W] 和 RRCM.A 右旋

4.6.3.28 RRCX

RRCX.A 通过进位 20 位操作数右旋

RRCX.[W] 通过进位 16 位操作数右旋

RRCX.B 通过进位 8 位操作数右旋

语法

```
RRCX.A Rdst
RRCX.W Rdst
RRCX Rdst
RRCX.B Rdst

RRCX.A dst
RRCX dst 或 RRCX.W dst
RRCX.B dst
```

操作 C→MSB→MSB-1→...LSB+1→LSB→C

说明 针对目的操作数的寄存器模式：如图 4-50 所示，目的操作数右移一个位位置。字指令 **RRCX.W** 清除位 Rdst.19:16，字节指令 **RRCX.B** 清除位 Rdst.19:8。进位位 C 被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位。

针对目的操作数的所有其它模式：如图 4-51 所示，目的操作数被算术右移一个位位置。进位位 C 被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位。除立即模式之外的所有寻址模式可在整个存储器内使用。

状态位

N： 如果值为负则置 1
 .A: dst.19=1，如果 dst.19=0 则复位
 .W: dst.15=1，如果 dst.15=0 则复位
 .B: dst.7=1，如果 dst.7=0 则复位

Z： 如果结果为零则置 1，否则复位

C： 从 LSB 载入

V： 复位

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 地址 EDE 上的 20 位操作数被右移一个位置。将 1 载入 MSB。

```
SETC          ; Prepare carry for MSB
RRCX.A EDE    ; EDE = EDE » 1 + 80000h
```

示例 R6 中的字被右移 12 个位置。

```
RPT #12
RRCX.W R6    ; R6 = R6 » 12.R6.19:16=0
```

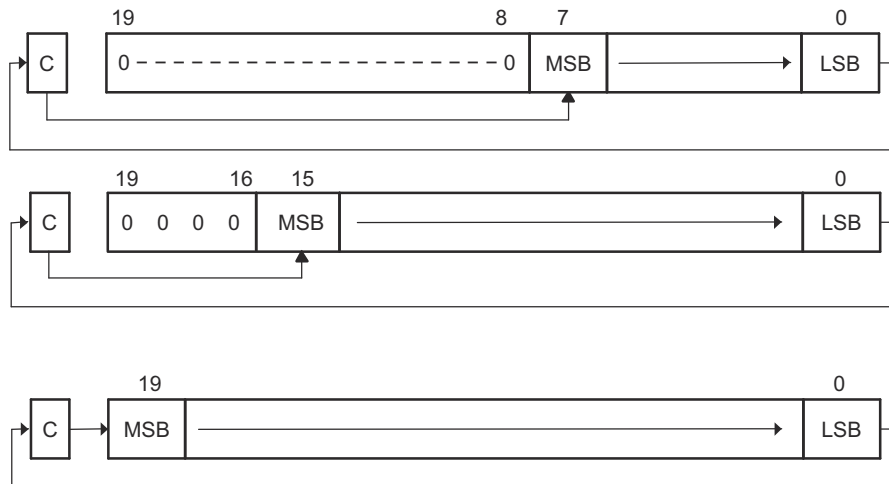


图 4-50. 通过进位 RRCX (.B , .A) 右旋-寄存器模式

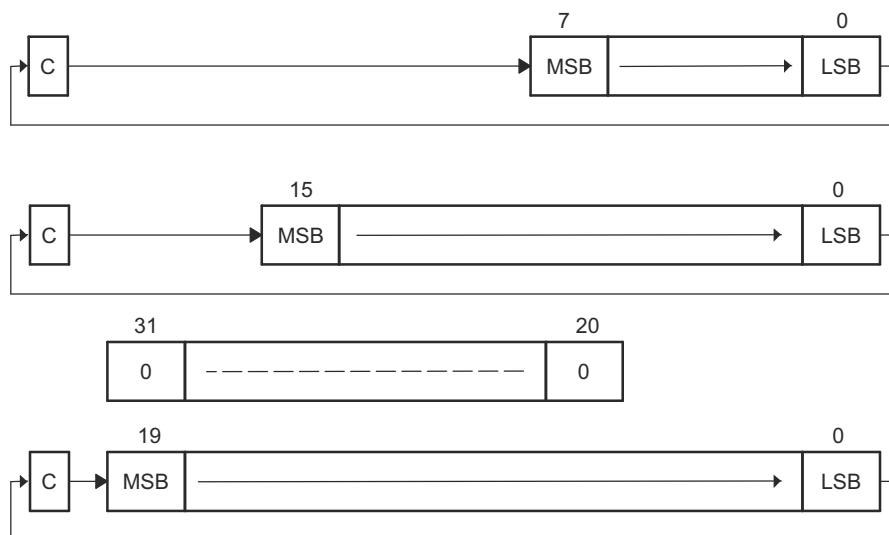


图 4-51. 通过进位 RRCX (.B , .A) 右旋-非寄存器模式

4.6.3.29 RRUM

RRUM.A 通过进位 20 位 CPU 寄存器内容右旋

RRUM.[W] 通过进位 16 位 CPU 寄存器内容右旋

语法 RRUM.A #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4
RRUM.W #n,Rdst 或 RRUM #n,Rdst 1 ≤ n ≤ 4

操作 0 → MSB → MSB-1...LSB+1 → LSB → C

说明 如图 4-52 所示，目的操作数右移 1, 2, 3 或 4 个位位置。零被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位。RRUM 运行为一个无符号 2, 4, 8 或 16 除法。字指令 RRUM.W 清零位 Rdst.19:16。

注意：该指令不使用扩展字。

状态位 N： 如果结果为负则置 1
.A： Rdst.19 = 1，如果 Rdst.19 = 0，则复位
.W： Rdst.15 = 1，如果 Rdst.15 = 0，则复位
Z： 如果结果为零则置 1，否则复位
C： 从 LSB (n=1)，LSB+1 (n=2)，LSB+2 (n=3)，或 LSB+3 (n=4) 载入
V： 复位

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 受影响。

示例 R5 中的无符号地址字被 16 除。

```
RRUM.A #4,R5 ; R5 = R5 >> 4.R5/16
```

示例 R6 中的字被右移一个位。将 0 载入 MSB R6.15。

```
RRUM.W #1,R6 ; R6 = R6/2.R6.19:15 = 0
```

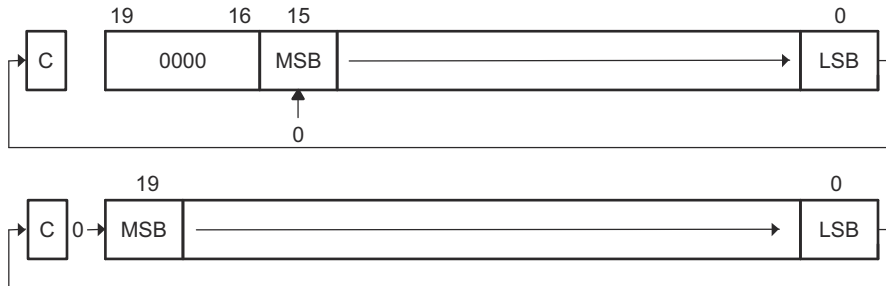


图 4-52. 右旋无符号 RRUM.[W] 和 RRUM.A

4.6.3.30 RRUX

RRUX.A 无符号右移 20 位 CPU 寄存器内容

RRUX.[W] 无符号右移 16 位 CPU 寄存器内容

RRUX.B 无符号右移 8 位 CPU 寄存器内容

语法 RRUX.A Rdst

RRUX.W Rdst

RRUX Rdst

RRUX.B Rdst

操作 C=0→MSB→MSB-1...LSB+1→LSB→C

说明 RRUX 只对寄存器模式有效：如图 4-53 所示，目的操作数右移一个位位置。字指令 RRUX.W 清零位 Rdst.19:16。字节指令 RRUX.B 清除位 Rdst.19:8。零被移入 MSB，而 LSB 被移入进位位。

状态位 N： 如果值为负则置 1

.A: dst.19=1，如果 dst.19=0 则复位

.W: dst.15=1，如果 dst.15=0 则复位

.B: dst.7=1，如果 dst.7=0 则复位

Z： 如果结果为零则置 1，否则复位

C： 从 LSB 载入

V： 复位

模式位 OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 R6 中的字被右移 12 个位置。

```
RPT      #12
RRUX.W  R6      ; R6 = R6 » 12.R6.19:16=0
```

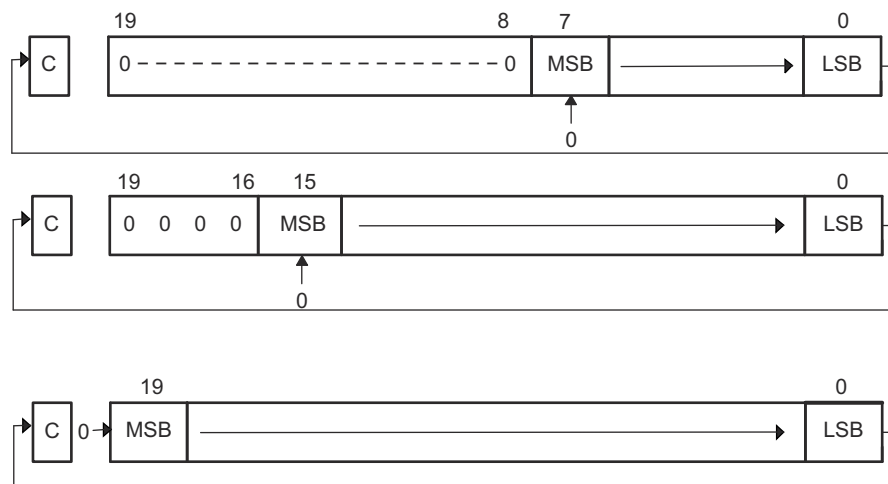


图 4-53. 右旋无符号 RRUX (.B, .A) - 寄存器模式

4.6.3.31 SBCX

* SBCX.A	从目标地址字中减去借位位 (进位位的反码)
* SBCX.[W]	从目标字中减去借位位 (进位位的反码)
* SBCX.B	从目标字节中减去借位位 (进位位的反码)
语法	SBCX.A dst SBCX dst 或 SBCX.W dst SBCX.B dst
操作	dst+0FFFFFFh+C→dst dst+0FFFFFFh+C→dst dst+0FFh+C→dst
仿真	SBCX.A #0, dst SBCX #0, dst SBCX.B #0, dst
说明	进位位 (C) 被加至目的操作数减一。目的操作数之前的内容丢失。
状态位	N: 如果结果为负则置 1, 如果为正则复位 Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位 C: 如果结果的 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位 如果无借位, 则置 1; 如果有借位, 则复位 V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R13 指向的 8 位计数器被从一个 R12 指向的 16 位计数器内。

```
SUBX.B @R13,0(R12) ; Subtract LSDs
SBCX.B 1(R12) ; Subtract carry from MSD
```

备注

借位实现

借位被视为进位的反码：

借位	进位位
是	0
否	1

4.6.3.32 SUBX

SUBX.A	从目的地址字中减去源地址字
SUBX.[W]	将源字从目的字中减去
SUBX.B	将源字节从目的字节中减去
语法	SUBX.A src,dst SUBX src,dst 或 SUBX.W src,dst SUBX.B src,dst
操作	(.not. src) + 1 + dst → dst 或 dst - src → dst
说明	从目的操作数中减去源操作数。这通过在目的中增加源 + 1 的 1s 补数来完成。源操作数不受影响。结果被写入目的操作数。两个操作数都位于完全地址空间内。
状态位	N: 如果结果为负 (src>dst), 则置 1, 如果为正则复位 (src≤dst) Z: 如果为零 (src=dst) 则置 1, 否则复位 (src≠dst) C: 如果有来自 MSB 的进位, 则置 1, 否则复位 V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果, 或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果, 则置 1, 否则复位 (无溢出)。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	从 EDE (LSB) 和 EDE+2 (MSB) 中减去一个 20 位 常数 87654h。

```
SUBX.A    #87654h,EDE        ; Subtract 87654h from EDE+2|EDE
```

示例 R5 (20 位地址) 指向的一个表格字被从 R7 中减去。指令后, 如果 R7 包含零, 则跳转至标签 TONI。R5 自动增量 2。
R7.19:16=0

```
SUBX.W    @R5+,R7           ; Subtract table number from R7.R5 + 2
JZ        TONI              ; R7 = @R5 (before subtraction)
...       ; R7 <> @R5 (before subtraction)
```

示例 从指向完全地址空间的字节 R12 中减去字节 CNT。地址 CNT 在 PC±512K 内。

```
SUBX.B    CNT,0(R12)       ; Subtract CNT from @R12
```

注意: 在以下两种情况下使用 SUBA 以实现最佳的密度和执行。

```
SUBX.A    Rsrc,Rdst
SUBX.A    #imm20,Rdst
```

4.6.3.33 SUBCX

SUBCX.A 从目的地址字中减去带有进位的源地址

SUBCX.[W] 从目的字中减去带有进位的源字

SUBCX.B 从目的字节中减去带有进位的源字节

语法 SUBCX.A src,dst
SUBCX src,dst 或 SUBCX.W src,dst
SUBCX.B src,dst

操作 $(.not. src) + C + dst \rightarrow dst$ 或 $dst - (src - 1) + C \rightarrow dst$

说明 从目的操作数中减去源操作数。这通过在目的中增加源+进位的 1s 补数来完成。源操作数不受影响，结果被写入目的操作数。两个操作数都位于完全地址空间内。

状态位 N: 如果结果为负 (MSB=1)，则置 1，如果为正 (MSB=0)，则复位

Z: 如果结果为零则置 1，否则复位

C: 如果有来自 MSB 的进位，则置 1，否则复位

V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果，或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果，则置 1，否则复位 (无溢出)。

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 一个 20 位常数 87654h 被从带有来自之前指令进位的 R5 中减去。

```
SUBCX.A    #87654h,R5        ; Subtract 87654h + C from R5
```

示例 从由 R7 指向的 RAM 中的一个 48 位计数器内减去由 R5 (20 位地址) 指向的一个 48 位数 (3 个字)。R5 自动增量来指向下一个 48 位数。

```
SUBX.W     @R5+,0(R7)       ; Subtract LSBs.R5 + 2
SUBCX.W    @R5+,2(R7)       ; Subtract MIDs with C. R5 + 2
SUBCX.W    @R5+,4(R7)       ; Subtract MSBs with C. R5 + 2
```

示例 从 R12 指向的字节中减去字节 CNT。使用之前指令的进位。20 位地址。

```
SUBCX.B    &CNT,0(R12)      ; Subtract byte CNT from @R12
```

4.6.3.34 SWPBX

SWPBX.A	较低字的交换字节
SWPBX.[W]	字的交换字节
语法	SWPBX.A dst SWPBX dst 或 SWPBX.W dst
操作	dst.15:8↔dst.7:0
说明	寄存器模式：Rn.15:8 与 Rn.7:0 交换。当使用 .A 扩展名时，Rn.19:16 保持不变。当使用 .W 扩展名时，Rn.19:16 被清零。 其他模式：当使用 .A 扩展名时，目标地址的位 31:20 被清除，位 19:16 保持不变，位 15:8 位与位 7:0 交换。当使用 .W 扩展名时，位 15:8 与被寻址字的位 7:0 交换。
状态位	状态位不受影响。
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	交换 RAM 地址字 EDE 的字节

```
MOVX.A    #23456h, &EDE    ; 23456h -> EDE
SWPBX.A   EDE              ; 25634h -> EDE
```

示例 交换 R5 的字节

```
MOVA     #23456h, R5       ; 23456h -> R5
SWPBX.W  R5                ; 05634h -> R5
```

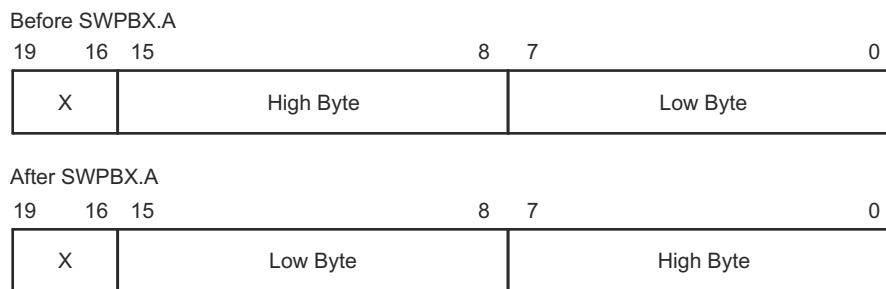


图 4-54. 交换字节 SWPBX.A 寄存器模式

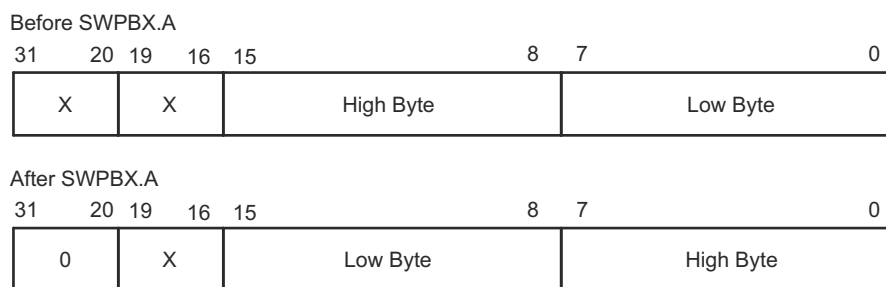


图 4-55. 在存储器中交换 SWPBX.A 字节

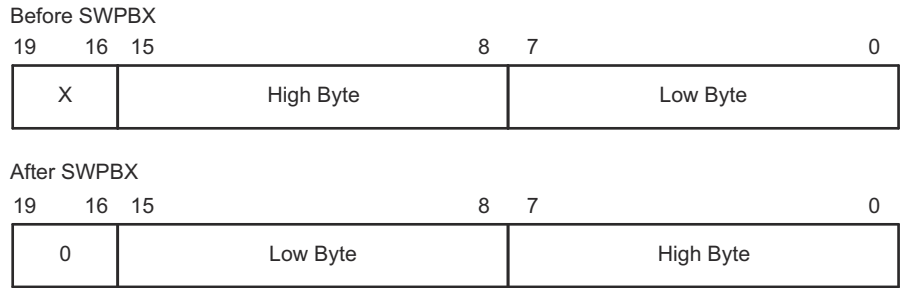


图 4-56. 交换字节 SWPBX[.W] 寄存器模式

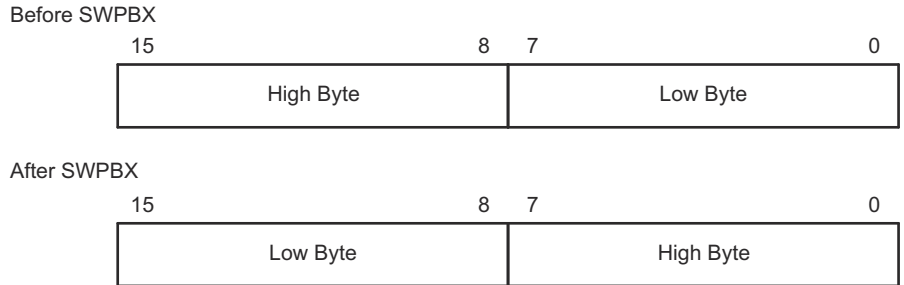


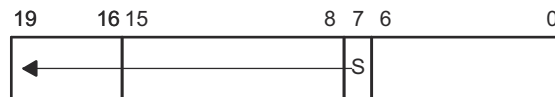
图 4-57. 在存储器中交换 SWPBX[.W] 字节

4.6.3.35 SXTX

SXTX.A	将较低字节的符号扩展为地址字
SXTX.[W]	将较低字节的符号扩展为字
语法	SXTX.A dst SXTX dst 或 SXTX.W dst
操作	dst.7→dst.15:8, Rdst.7→Rdst.19:8 (寄存器模式)
说明	寄存器模式：操作数 (Rdst.7) 低字节的符号被扩展到位 Rdst.19:8。 其他模式：SXTX.A：操作数 (dst.7) 低字节的符号被扩展到 dst.19:8。位 dst.31:20 被清零。 SXTX.[W]：操作数 (dst.7) 低字节的符号被扩展至位 dst.15:8 内。
状态位	N： 如果结果为负则置 1，否则复位 Z： 如果结果为零则置 1，否则复位 C： 如果结果不为零则置 1，否则复位 (C=NOT.Z) V： 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	EDE.7:0 中的有符号 8 位数据符号扩展为 20 位：EDE.19:8。位于 EDE+2 内的位 31:20 被清零。

SXTX.A &EDE ; Sign extended EDE -> EDE+2/EDE

SXTX.A Rdst



SXTX.A dst

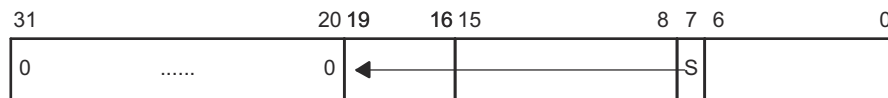
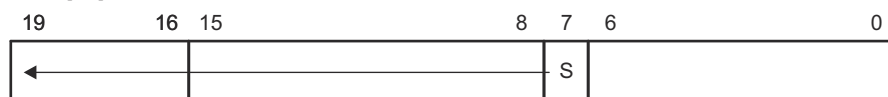


图 4-58. 符号扩展 SXTX.A

SXTX.[W] Rdst



SXTX.[W] dst

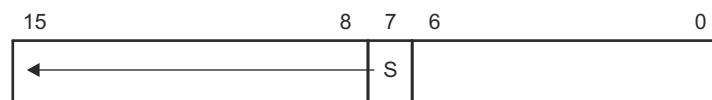


图 4-59. 符号扩展 SXTX.[W]

4.6.3.36 TSTX

* **TSTX.A** 测试目的地址字

* **TSTX.[W]** 测试目的字

* **TSTX.B** 测试目的字节

语法 TSTX.A dst
 TSTX dst 或 TSTX.W dst
 TSTX.B dst

操作 dst+0FFFFFFh+1
 dst+0FFFFh+1
 dst+0FFh+1

仿真 CMPX.A #0, dst
 CMPX #0, dst
 CMPX.B #0, dst

说明 目的操作数与零相比较。根据结果设置状态位。目的操作数不受影响。

状态位 N: 如果目的操作数为负则置 1, 如果为正则复位

Z: 如果目的操作数包含零则置 1, 否则复位

C: 设置

V: 复位

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 RAM 字节 LEO 被测试; PC 正指向上部存储器。如果它为负, 则继续在 LEONEG 上执行; 如果为正但又不为零, 则继续在 LEOPOS 上执行。

```

TSTX.B  LEO          ; Test LEO
JN      LEONEG      ; LEO is negative
JZ      LEOZERO     ; LEO is zero
LEOPOS  .....      ; LEO is positive but not zero
LEONEG  .....      ; LEO is negative
LEOZERO .....      ; LEO is zero
  
```

4.6.3.37 XORX

XORX.A 将源地址字与目的地址字进行异或操作

XORX.[W] 源字与目的字异或操作

XORX.B 源字节与目的字节异或操作

语法 XORX.A src,dst

XORX src,dst 或 XORX.W src,dst

XORX.B src,dst

操作 src.xor.dst → dst

说明 源操作数和目的操作数被异或操作。结果被放置在目的操作数内。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。两个操作数都位于完全地址空间内。

状态位 N: 如果结果为负 (MSB=1), 则置 1, 如果为正 (MSB=0), 则复位

Z: 如果结果为零则置 1, 否则复位

C: 如果结果不为零则置 1, 否则复位 (C≠.not.零位)

V: 如果两个操作数均为负(在执行前)则置 1, 否则复位

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 用地址字 TONI (20 位地址) 内的信息切换地址字 CNTR (20 位数据) 内的位。

```
XORX.A  TONI,&CNTR      ; Toggle bits in CNTR
```

示例 R5 指向的一个表格字 (20 位地址) 被用于切换 R6 中的位。

```
XORX.W  @R5,R6         ; Toggle bits in R6.R6.19:16=0
```

示例 R7 中低字节内复位为零的那些位与位于字节 EDE (20 位地址) 内的位不同。

```
XORX.B  EDE,R7         ; Set different bits to 1 in R7
INV.B   R7              ; Invert low byte of R7.R7.19:8 = 0.
```

4.6.4 MSP430X 寻址指令

MSP430X 寻址指令支持 20 位操作数，但是具有受限的寻址模式。寻址模式限制为寄存器模式和立即模式，除了 MOVA 指令。限制寻址模式后则不再需要额外的扩展字操作码，从而增大代码密度并缩短执行时间。在下面的部分中对 MSP430X 寻址指令进行了说明。

MSP430X 扩展指令请参阅节 4.6.3，而标准 MSP430X 指令请参阅节 4.6.2。

4.6.4.1 ADDA

ADDA	将一个 20 位源添加到一个 20 位地址寄存器
语法	ADDA Rsrc,Rdst ADDA #imm20,Rdst
操作	src+Rdst→Rdst
说明	20 位源操作数被添加到 20 位目的 CPU 寄存器。目的操作数之前的内容丢失。源操作数不受影响。
状态位	N: 如果结果为负 (Rdst.19=1), 则置 1, 如果为正 (Rdst.19=0), 则复位 Z: 如果结果为零, 则置 1; 否则复位 C: 如果有来自 20 位结果的进位, 则置 1; 否则复位 V: 如果两个正操作数的结果为负, 或者如果两个负数的结果为正, 则置 1; 否则复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 增加 0A4320h。如果进位发生, 执行到标签 TONI 的跳转。

```

ADDA #0A4320h,R5      ; Add A4320h to 20-bit R5
JC   TONI             ; Jump on carry
...                   ; No carry occurred
    
```

4.6.4.2 BRA

* BRA	跳转到目标
语法	BRA dst
运行	dst→PC
仿真	MOVA dst,PC
说明	一个无条件分支指令被完全地址空间内任何位置的 20 位地址可使用所有七个源寻址模式。分支指令是一个地址字指令。如果目标地址包含在存储器位置 X 中，则会包含在两个升序字中：X (LSB) 和 (X + 2) (MSB)。
状态位	N： 不受影响 Z： 不受影响 C： 不受影响 V： 不受影响
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	给出了针对所有寻址模式的示例。 立即模式：跳转到位于 20 位地址空间中任何位置的标签 EDE 或直接跳转到地址。

```
BRA    #EDE          ; MOVA    #imm20,PC
BRA    #01AA04h
```

符号模式：跳转到地址 EXEC (LSB) 和 EXEC+2 (MSB) 中包含的 20 位地址。EXEC 位于地址 (PC+X) 上，其中 X 在 +32K 内。间接寻址。

```
BRA    EXEC          ; MOVA    z16(PC),PC
```

注意：如果 16 位索引不够用，则可以使用 20 位索引和以下指令。

```
MOVX.A EXEC,PC      ; 1M byte range with 20-bit index
```

绝对模式：跳转到绝对地址 EXEC (LSB) 和 EXEC+2 (MSB) 中包含的 20 位地址。间接寻址

```
BRA    &EXEC          ; MOVA    &abs20,PC
```

寄存器模式：跳转到寄存器 R5 中包含的 20 位地址。间接 R5。

```
BRA    R5             ; MOVA    R5,PC
```

间接模式：跳转到寄存器 R5 (LSB) 指向的字中包含的 20 位地址。MSB 具有地址 (R5+2)。间接，间接 R5。

```
BRA    @R5            ; MOVA    @R5,PC
```

间接自动递增模式：跳转到寄存器 R5 指向的字中包含的 20 位地址并且之后使 R5 中的地址递增 4。下次 S/W 使用 R5 作为一个指针，访问由 R5 指向表中的下一个字地址使得它能够改变程序执行。间接，间接 R5。

```
BRA    @R5+           ; MOVA    @R5+,PC.R5 + 4
```

已索引模式：跳转到寄存器 (R5 + X) 指向的地址中包含的 20 位地址 (例如带有从 X 开始的地址的表)。(R5+X) 指向 LSB, (R5+X+2) 指向地址的 MSB。X 在 R5+32 内。间接，间接 (R5+X)。

```
BRA    X(R5)          ; MOVA    z16(R5),PC
```

注意：如果 16 位索引不够用，则可以使用 20 位索引 X 和以下指令：

```
MOVX.A  X(R5),PC      ; 1M byte range with 20-bit index
```

4.6.4.3 CALLA

CALLA	调用一个子例程
语法	CALLA dst
操作	dst→tmp 20 位 dst 被评估和存储 SP-2→SP PC.19:16→@SP 用到 TOS 的返回地址更新 PC (MSB) SP-2→SP PC.15:0→@SP 更新到 TOS 的 PC (LSB) tmp→PC 保存 20 位 dst 到 PC
说明	在完全地址空间内任何位置的一个 20 位地址进行子例程调用。可使用所有七个源寻址模式。调用指令是一个地址字指令。如果目的地址被包含在存储器位置 X，它包含在两个上升字内，X (LSB) 和 (X+2) (MSB)。返回地址需要堆栈上的两个字。使用指令 RETA 来完成返回。
状态位	N： 不受影响 Z： 不受影响 C： 不受影响 V： 不受影响
模式位	OSCOFF，CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	给出了针对所有寻址模式的示例。 立即模式：在标签 EXEC 处调用子例程或直接调用地址。

```
CALLA #EXEC          ; Start address EXEC
CALLA #01AA04h      ; Start address 01AA04h
```

符号模式：在地址 EXEC (LSB) 和 EXEC+2 (MSB) 中包含的 20 位地址处调用子例程。EXEC 位于地址 (PC+X) 上，其中 X 在 +32K 内。间接寻址。

```
CALLA EXEC          ; Start address at @EXEC. z16(PC)
```

绝对模式：在绝对地址 EXEC (LSB) 和 EXEC+2 (MSB) 中包含的 20 位地址处调用子例程。间接寻址

```
CALLA &EXEC        ; Start address at @EXEC
```

寄存器模式：在寄存器 R5 中包含的 20 位地址处调用子例程。间接 R5。

```
CALLA R5           ; Start address at @R5
```

间接模式：在寄存器 R5 (LSB) 指向的字中包含的 20 位地址处调用子例程。MSB 具有地址 (R5+2)。间接，间接 R5。

```
CALLA @R5         ; Start address at @R5
```

间接自动递增模式：在寄存器 R5 指向的字中包含的 20 位地址处调用子例程并且之后使 R5 中的 20 位地址递增 4。下次 S/W 使用 R5 作为一个指针，访问由 R5 指向表中的下一个字地址使得它能够改变程序执行。间接，间接 R5。

```
CALLA @R5+        ; Start address at @R5.R5 + 4
```

已索引模式：在寄存器 (R5 + X) 指向的地址中包含的 20 位地址处调用子例程，例如带有从 X 开始的地址的表。(R5 + X) 指向 LSB，(R5 + X + 2) 指向字地址的 MSB。X 在 R5+32 内。间接，间接 (R5+X)。

```
CALLA X(R5) ; Start address at @(R5+X). z16(R5)
```


4.6.4.4 CLRA

* CLRA	清零 20 位目的寄存器
语法	CLRA Rdst
操作	0→Rdst
仿真	MOVA #0,Rdst
说明	目的寄存器被清零。
状态位	状态位不受影响。
示例	R10 内的 20 位值被清零。

```
CLRA R10 ; 0 -> R10
```

4.6.4.5 CMPA

CMPA 将 20 位源与 20 位目的寄存器相比较。

语法
 CMPA Rsrc,Rdst
 CMPA #imm20,Rdst

操作 (.not. src) + 1 + Rdst 或 Rdst - src

说明 从 20 位目的 CPU 寄存器中减去 20 位源操作数。通过在目的寄存器中增加源 + 1 的 1s 补数来完成。结果只影响状态位。

状态位 N: 如果结果为负 (src>dst), 则置 1, 如果为正, 则复位 (src≤dst)

Z: 如果为零 (src=dst), 则置 1; 否则复位 (src≠dst)

C: 如果 MSB 有进位, 则置 1; 否则复位

V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果, 或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果, 则置 1; 否则复位 (无溢出)。

模式位 OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例 将一个 20 位直接操作数与 R6 相比较。如果他们相等, 程序继续在标签 EQUAL 上执行。

```
CMPA #12345h,R6      ; Compare R6 with 12345h
JEQ  EQUAL          ; R5 = 12345h
...                ; Not equal
```

示例 比较 R5 和 R6 中的 20 位值。如果 R5 大于 (带符号) 或等于 R6, 程序继续在标签 GRE 上执行。

```
CMPA R6,R5          ; Compare R6 with R5 (R5 - R6)
JGE  GRE            ; R5 >= R6
...                ; R5 < R6
```

4.6.4.6 DECDA

* DECDA	双递减 20 位目的寄存器
语法	DECDA Rdst
操作	Rdst-2→Rdst
仿真	SUBA #2,Rdst
说明	目的寄存器递减 2。原先的内容丢失。
状态位	<p>N: 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z: 如果 Rdst 包含 2, 则置 1; 否则复位</p> <p>C: 如果 Rdst 包含 0 或 1, 则复位; 否则置 1</p> <p>V: 如果发生算术溢出, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 中的 20 位值被乘以 2。

```
DECDA R5 ; Decrement R5 by two
```

4.6.4.7 INCDA

* INCDA	双递增 20 位目的寄存器
语法	INCDA Rdst
操作	Rdst+2→Rdst
仿真	ADDA #2,Rdst
说明	目的寄存器被递增 2。原先的内容丢失。
状态位	<p>N : 如果结果为负, 则置 1, 如果为正, 则复位</p> <p>Z : 如果 Rdst 包含 0FFFFFFEh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 0FFFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 0FEh, 则置 1; 否则复位</p> <p>C : 如果 Rdst 包含 0FFFFFFEh 或 0FFFFFFh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 0FFFFFFh 或 0FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 0FEh 或 0FFh, 则置 1; 否则复位</p> <p>V : 如果 Rdst 包含 07FFFEh 或 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 07FFFEh 或 07FFFh, 则置 1; 否则复位 如果 Rdst 包含 07FEh 或 07Fh, 则置 1; 否则复位</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R5 中的 20 位值被乘以 2。

```
INCDA R5 ; Increment R5 by two
```

4.6.4.8 MOVA

MOVA 将 20 位源操作数移动到 20 位目的操作数

语法

```
MOVA Rsrc,Rdst
MOVA #imm20,Rdst
MOVA z16(Rsrc),Rdst
MOVA EDE,Rdst
MOVA &abs20,Rdst
MOVA @Rsrc,Rdst
MOVA @Rsrc+,Rdst
MOVA Rsrc,z16(Rdst)
MOVA Rsrc,&abs20
```

操作

src→Rdst
Rsrc→dst

说明

20 位源操作数被移到至 20 位目的操作数。源操作数不受影响。目的操作数之前的内容丢失。

状态位

N: 不受影响
Z: 不受影响
C: 不受影响
V: 不受影响

模式位

OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。

示例

将 R9 的 20 位复制到 R8

```
MOVA R9,R8 ; R9 -> R8
```

将 20 位立即值 12345h 写入到 R12

```
MOVA #12345h,R12 ; 12345h -> R12
```

将由 (R9+100h) 寻址的 20 位值复制到 R8。地址 (R9+100h) LSB 和 (R9+102h) MSB 中的源操作数。

```
MOVA 100h(R9),R8 ; Index: + 32 K. 2 words transferred
```

将 20 位绝对地址 EDE (LSB) 和 EDE+2 (MSB) 内的 20 位值移动到 R12

```
MOVA &EDE,R12 ; &EDE -> R12.2 words transferred
```

将 20 位地址 EDE (LSB) 和 EDE+2 (MSB) 内的 20 位值移动到 R12。PC 索引 ±32K。

```
MOVA EDE,R12 ; EDE -> R12.2 words transferred
```

将指向 (20 位地址) 的 20 位值复制至 R8。地址 @R9 LSB 和 @(R9+2) MSB 内的源操作数。

```
MOVA @R9,R8 ; @R9 -> R8.2 words transferred
```

将指向 (20 位地址) 的 20 位值复制至 R8。之后 R9 增加 4。地址 @R9 LSB 和 @(R9 + 2) MSB 内的源操作数。

```
MOVA @R9+,R8 ; @R9 -> R8.R9 + 4.2 words transferred.
```

将 R8 内的 20 位值复制到 (R9+100h) 寻址的目的操作数。地址 @(R9+100h) LSB 和 @(R9+102h) MSB 内的目的操作数。

```
MOVA R8,100h(R9) ; Index: +- 32 K. 2 words transferred
```

将 R13 内的 20 位值移动到 20 位绝对地址 EDE (LSB) 和 EDE+2 (MSB)。

```
MOVA R13,&EDE ; R13 -> EDE.2 words transferred
```

将 R13 内的 20 位值移动到 20 位地址 EDE (LSB) 和 EDE+2 (MSB)。PC 索引 $\pm 32K$ 。

```
MOVA R13,EDE ; R13 -> EDE.2 words transferred
```

4.6.4.9 RETA

* RETA	从子例程返回
句法	RETA
操作	<p>@SP → PC.15:0 LSBs (15:0) of saved PC to PC.15:0</p> <p>SP+2→SP</p> <p>@SP → PC.19:16 MSBs (19:16) of saved PC to PC.19:16</p> <p>SP+2→SP</p>
仿真	MOVA @SP+, PC
说明	被一个 CALLA 指令压入堆栈的 20 位返回地址被恢复至 PC。程序继续在子例程调用之后的地址上执行。SR 位 SR.11:0 不受影响。这可实现包含这些位的信息的传送。
状态位	<p>N: 不受影响</p> <p>Z: 不受影响</p> <p>C: 不受影响</p> <p>V: 不受影响</p>
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	调用一个 20 位地址空间内的任一位置上的子例程 SUBR 并且在 CALLA 之后返回至地址

```

CALLA    #SUBR      ; Call subroutine starting at SUBR
...      ; Return by RETA to here
SUBR     PUSHM.A    #2,R14    ; Save R14 and R13 (20 bit data)
...      ; Subroutine code
SUBR     POPM.A     #2,R14    ; Restore R13 and R14 (20 bit data)
SUBR     RETA      ; Return (to full address space)
  
```

4.6.4.10 TSTA

* TSTA	测试 20 位目的寄存器
语法	TSTA Rdst
操作	dst+0FFFFFFh+1 dst+0FFFFFFh+1 dst+0FFh+1
仿真	CMPA #0,Rdst
说明	目的寄存器与零相比较。根据结果设置状态位。目的寄存器不受影响。
状态位	N: 如果目的寄存器为负则置 1, 如果为正则复位 Z: 如果目的寄存器包含零则置 1, 否则复位 C: 设置 V: 复位
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	R7 中的 20 位值被测试。如果它为负, 则继续在 R7NEG 上执行; 如果为正但又不为零, 则继续在 R7POS 上执行。

```

TSTA  R7          ; Test R7
JN    R7NEG      ; R7 is negative
JZ    R7ZERO     ; R7 is zero
R7POS .....     ; R7 is positive but not zero
R7NEG .....     ; R7 is negative
R7ZERO .....    ; R7 is zero
    
```


4.6.4.11 SUBA

SUBA	从 20 位目的寄存器中减去 20 位源。
语法	SUBA Rsrc,Rdst SUBA #imm20,Rdst
操作	(.not.src) + 1 + Rdst → Rdst 或 Rdst - src → Rdst
说明	从 20 位目的寄存器中减去 20 位源操作数。通过在目的中增加源 + 1 的 1s 补数来完成。结果被写入目的寄存器，源操作数不受影响。
状态位	N: 如果结果为负 (src>dst)，则置 1，如果为正则复位 (src≤dst) Z: 如果为零 (src=dst) 则置 1，否则复位 (src≠dst) C: 如果有来自 MSB (Rdst.19) 的进位，则置 1，否则复位 V: 如果从一个正目的操作数中减去一个负源操作数得到一个负结果，或者如果从一个负目的操作数中减去一个正源操作数得到一个正结果，则置 1，否则复位 (无溢出)。
模式位	OSCOFF, CPUOFF 和 GIE 不受影响。
示例	从 R6 中减去 R5 中的 20 位值。如果一个进位发生，程序继续在标签 TONI 上执行。

```

SUBA   R5,R6      ; R6 - R5 -> R6
JC     TONI       ; Carry occurred
...     ; No carry

```

This page intentionally left blank.

章节 5 基本时钟模块+



基本时钟模块+ 为 MSP430x2xx 系列提供了时钟。本章介绍了 MSP430x2xx 器件系列的基本时钟模块+ 的操作。

5.1 基本时钟模块+ 介绍	276
5.2 基本时钟模块+ 的操作	279
5.3 基本时钟模块+ 寄存器	285

5.1 基本时钟模块+ 介绍

基本时钟模块+ 支持低系统成本和超低功耗。采用三种内部时钟信号，用户可以选择性能和低功耗的最佳平衡。基本时钟模块+ 可配置为在不使用任何外部元件、使用一个外部电阻器、使用一个或两个外部晶体或使用谐振器的情况下运行，完全由软件进行控制。

基本时钟模块+ 有 2 个，3 个或 4 个时钟源：

- **LFXT1CLK**：低频/高频振荡器，可与 32768Hz 的低频手表晶体或外部时钟源或者 400kHz 至 16MHz 范围内的标准晶体、谐振器或外部时钟源一同使用。
- **XT2CLK**：可选高频振荡器，可与 400kHz 至 16MHz 范围内的标准晶体、谐振器或外部时钟源一同使用。
- **DCOCLK**：内部数控振荡器 (DCO)。
- **VLOCLK**：具有 12kHz 典型频率的内部超低功耗低频振荡器。

基本时钟模块+ 可提供的三种时钟信号：

- **ACLK**：辅助时钟。ACLK 是由软件选择来作为 LFXT1CLK 或 VLOCLK。ACLK 进行 1、2、4 或 8 分频。ACLK 可由软件选作各个外围模块。
- **MCLK**：主时钟。可通过软件将 MCLK 选择为 LFXT1CLK、VLOCLK、XT2CLK (如果片上可用) 或 DCOCLK。MCLK 进行 1、2、4 或 8 分频。MCLK 用于 CPU 和系统。
- **SMCLK**：子主时钟。可通过软件将 SMCLK 选择为 LFXT1CLK、VLOCLK、XT2CLK (如果片上可用) 或 DCOCLK。SMCLK 进行 1、2、4 或 8 分频。可通过软件针对各个外设模块选择 SMCLK。

图 5-1 展示了 MSP430F2xx 器件中基本时钟模块+ 的方框图。

图 5-2 展示了 MSP430AFE2xx 器件中基本时钟模块+ 的方框图。

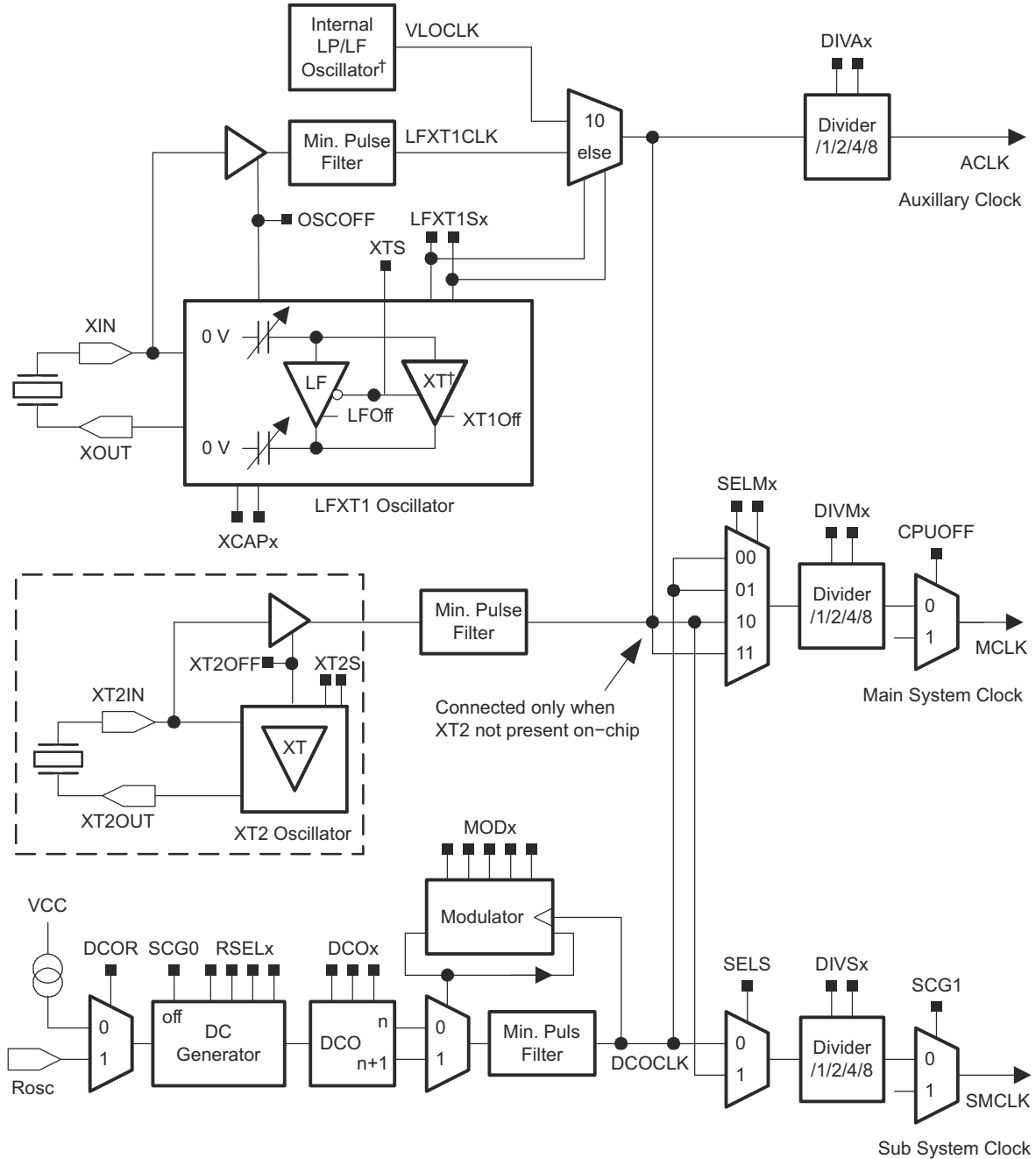


图 5-1. 基本时钟模块+ 方框图 - MSP430F2xx、MSP430G2xx

备注

† 器件特定时钟变体

并非所有 MSP430x2xx 器件都提供所有时钟功能

MSP430G22x0 : 无 LFXT1, 无 XT2, 不支持 ROSC。

MSP430F20xx、MSP430G2xx1、MSP430G2xx2、MSP430G2xx3 : LFXT1 不支持 HF 模式, 无 XT2, 不支持 ROSC。

MSP430x21x1 : 无内部 LP/LF 振荡器, 无 XT2, 不支持 ROSC。

MSP430x21x2 : 无 XT2。

MSP430F22xx、MSP430G2x55、MSP430x23x0 : 无 XT2。

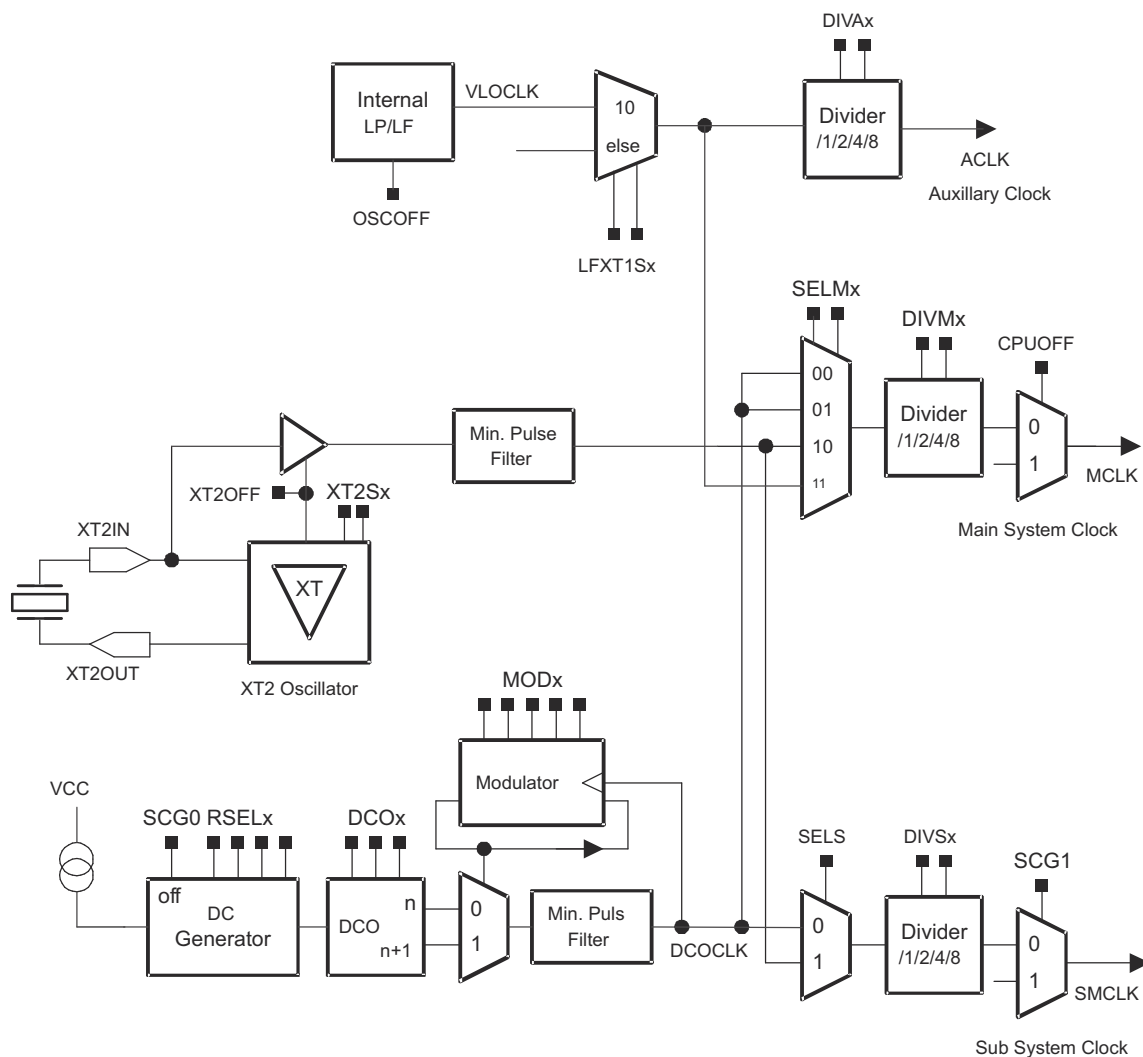


图 5-2. 基本时钟模块+ 框图 — MSP430AFE2xx

备注

在 MSP430AFE2xx 器件中没有 LFXT1。

5.2 基本时钟模块+ 的操作

在 PUC 之后，MCLK 和 SMCLK 来自 DCOCLK，频率约为 1.1MHz（有关参数，请参阅器件特定数据表），ACLK 来自 LF 模式下的 LFXT1CLK，内部负载电容为 6pF。

状态寄存器控制位 SCG0、SCG1、OSCOFF 和 CPUOFF 配置 MSP430 工作模式并启用或禁用基本时钟模块+ 的某些部分（请参阅系统复位、中断和工作模式一章）。DCOCTL、BCSCTL1、BCSCTL2 和 BCSCTL3 寄存器配置基本时钟模块+。

可以在程序执行过程中随时通过软件配置或重新配置基本时钟模块+，例如：

```
CLR.B    &DCOCTL                ; Select lowest DCOx
        ; and MODx settings
BIS.B    #RSEL2+RSEL1+RSEL0,&BCSCTL1 ; Select range 7
BIS.B    #DCO2+DCO1+DCO0,&DCOCTL    ; Select max DCO tap
```

5.2.1 适用于低功耗应用的基本时钟模块+ 功能

电池供电应用中通常存在相互矛盾的要求。

- 低时钟频率，以节约能源和测时
- 高时钟频率，可实现快速事件响应和快速脉冲处理功能
- 运行温度和电源电压上的时钟稳定

基本时钟模块+ 允许用户从三个可用时钟信号中进行选择，从而满足了上述相互冲突的要求：ACLK、MCLK 和 SMCLK。为获得最佳低功耗性能，ACLK 可来自低功耗 32768Hz 手表晶体（如果可用），从而为系统和低功耗待机操作提供稳定的时基，或来自内部低频振荡器（如果不需要与晶体一样的精确时间保持）。MCLK 可以配置为使用片上 DCO 运行，当中断驱动事件发出请求时，可以激活该 DCO。SMCLK 可配置为使用晶体或 DCO 运行，具体取决于外设要求。可提供一个灵活的时钟分配和分频系统来对各个时钟要求进行微调。

5.2.2 内部超低功耗低频振荡器 (VLO)

内部超低功耗低频振荡器 (VLO) 可提供 12kHz 的典型频率（有关参数，请参阅器件特定数据表），无需晶体。当 XTS = 0 时，可以通过设置 LFXT1Sx = 10 来选择 VLOCLK 源。OSCOFF 位禁用 LPM4 的 VLO。选择 VLO 后，LFXT1 晶体振荡器将被禁用，从而降低电流消耗。VLO 在不使用时不消耗电力。

不具有 LFXT1 的器件（例如 MSP430G22x0）应配置为使用 VLO 作为 ACLK。

5.2.3 LFXT1 振荡器

在 MSP430G22x0 器件系列中没有执行 LFXT1 振荡器。

LFXT1 振荡器在 LF 模式 (XTS = 0) 下使用 32768Hz 手表晶体支持超低电流消耗。一个时钟晶振连接到 XIN 和 XOUT 不需要任何其他外部组件。软件可选 XCAPx 位配置 LF 模式下 LFXT1 晶体内部提供的负载电容。对于该电容，可以选择 1pF、6pF、10pF 或 12.5pF（典型值）。必要的话还可添加额外的外部电容。

LFXT1 振荡器在 HF 模式 (XTS = 1, XCAPx = 00) 下也支持高速晶体或谐振器。高速晶振或振荡器可接到 XIN 和 XOUT 端，且两端都需外部电容。应当根据晶振或振荡器来决定电容的大小。当 LFXT1 处于 HF 模式时，LFXT1Sx 位选择工作范围。

当 LFXT1Sx = 11、OSCOFF = 0、XCAPx = 00 时，LFXT1 可在 LF 或 HF 模式下与 XIN 引脚上的外部时钟信号一同使用。当与外部时钟信号一起使用时，外部频率必须满足已选模式的数据手册参数。当输入频率低于指定的下限，可能会设置 LFXT1OF 位，从而阻止 CPU 由 LFXT1CLK 计时。

如果 LFXT1CLK 不提供 SMCLK 或 MCLK，则软件可能会通过设置 OSCOFF 来禁用 LFXT1，如图 5-3 所示。如果被请求作为 ACLK (ACLK_request)、MCLK (MCLK_request) 或 SMCLK (SMCLK_request) 的源并且未被软件禁用，则 LFXT1 将开启。

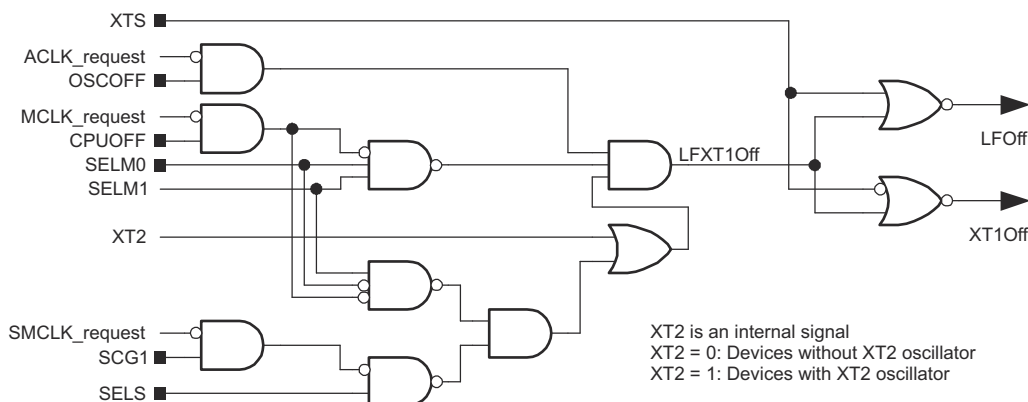


图 5-3. LFXT1 振荡器的关闭信号

备注

LFXT1 振荡器特性

低频晶体通常需要数百毫秒才能启动，具体取决于晶体。

应保护超低功耗振荡器（例如 LF 模式下的 LFXT1）免受其他源的噪声耦合的影响。晶体应尽可能靠近 MSP430 放置，晶体外壳接地，接地引线为晶体引线提供保护。

5.2.4 XT2 振荡器

有些器件有一个第二晶振振荡器，XT2。XT2 提供 XT2CLK，其特性与 HF 模式下的 LFXT1 相同。XT2Sx 位选择 XT2 的工作范围。如果 XT2CLK 不用于 MCLK (MCLK_request) 或 SMCLK (SMCLK_request)，则 XT2OFF 位禁用 XT2 振荡器，如图 5-4 所示。

当 XT2Sx = 11 且 XT2OFF = 0 时，XT2 可与 XT2IN 引脚上的外部时钟信号一同使用。与外部信号一同使用时，外部频率必须符合 XT2 的数据表参数。当输入频率低于指定的下限时，可以设置 XT2OF 位以防止 CPU 使用 XT2CLK 进行计时。

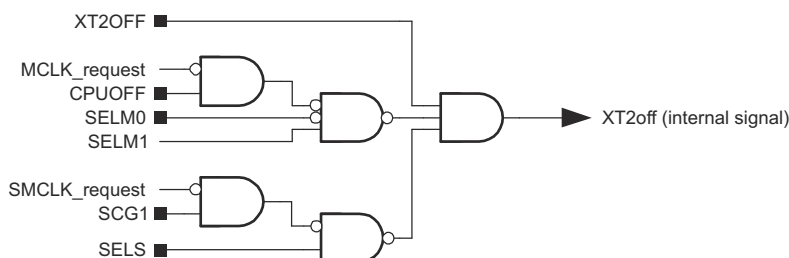


图 5-4. XT2 振荡器的关闭信号

5.2.5 数控振荡器 (DCO)

DCO 是一个内置的数字控制振荡器。DCO 频率可以通过软件使用 DCOx、MODx 和 RSELx 位进行调整。

5.2.5.1 禁用 DCO

当 DCOCLK 在活动模式下不用于提供 SMCLK (SMCLK_request) 或 MCLK (MCLK_request) 时，软件可以通过设置 SCG0 来禁用 DCOCLK，如图 5-5 所示。

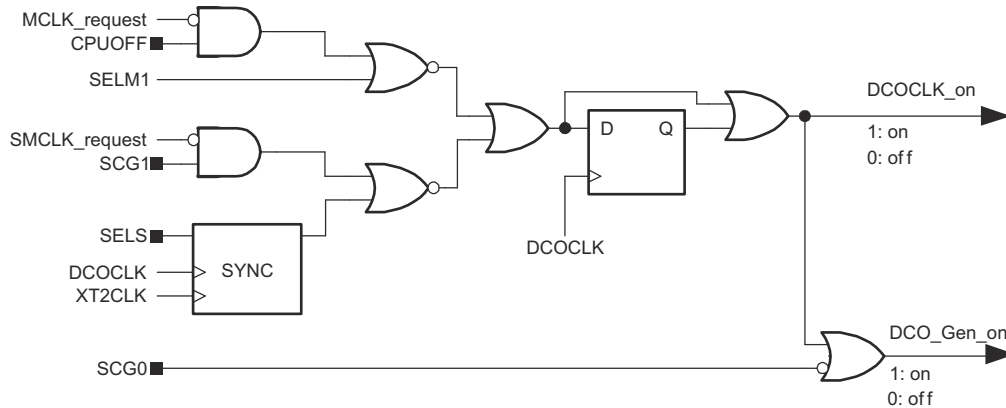


图 5-5. DCO 的开关控制

5.2.5.2 调整 DCO 的频率

在 PUC 之后，RSELx = 7，DCOx = 3，允许 DCO 以中等频率启动。MCLK 和 SMCLK 都来自 DCO。CPU 执行来自快速启动 DCO 的 MCLK 的代码，因此代码执行通常在不到 2 μ s 的时间内从 PUC 开始。图 5-6 展示了典型的 DCOx 和 RSELx 范围和阶跃。

COCLK 的频率根据以下功能设定：

- 四个 SELx 位选择 DCO 的 16 个标称频率范围其中的一个。在特定器件的数据手册中针对一个单独器件的对这些范围进行了定义。
- 三个 DCOx 位将按 RSELx 位选择的 DCO 范围分为 8 个频率阶跃，其间距约为 10%。
- 五个 MODx 位在 DCOx 位选择的频率和 DCOx+1 设置的下一个更高频率之间切换。当 DCOx = 07h 时，MODx 位无效，因为 DCO 已处于所选 RSELx 范围的最高设置。

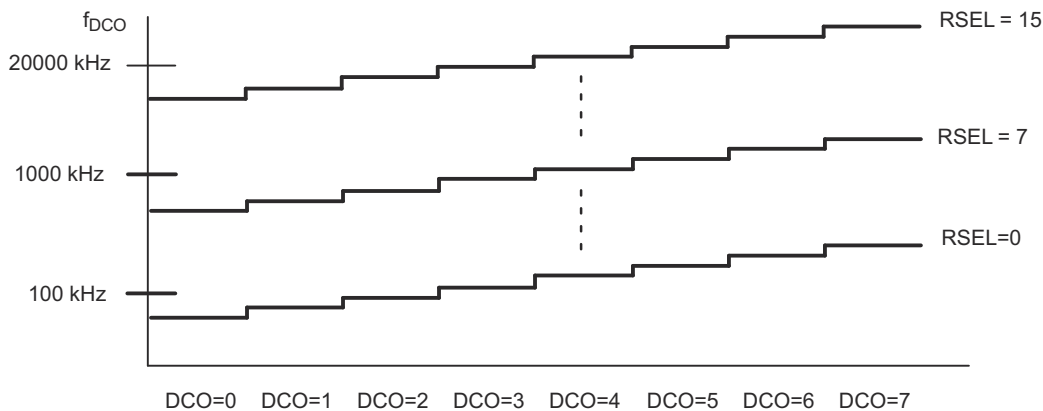


图 5-6. 典型的 DCOX 范围和 RSELx 的阶跃

每个 MSP430F2xx 器件（以及大多数 MSP430G2xx 器件；请参阅器件特定数据表）都针对存储在信息存储器段 A 中的特定频率校准了 DCOCTL 和 BCSCCTL1 寄存器设置。为了使用校准后的设置，将信息复制到 DCOCTL 和

BCSCTL1 寄存器中。校准后的设置会影响 DCOx、MODx 和 RSELx 位，并清除所有其他位，但保持置位的 XT2OFF 除外。可根据需要使用 BIS.B 或 BIC.B 指令设置或清除 BCSCTL1 的其余位。

```

; Set DCO to 1 MHz:
CLR.B    &DCOCTL                ; Select lowest DCOx
                                ; and MODx settings
MOV.B    &CALBC1_1MHZ, &BCSCTL1 ; Set range
MOV.B    &CALDCO_1MHZ, &DCOCTL  ; Set DCO step + modulation
    
```

5.2.5.3 为 DCO 使用外部电阻器 (R_{osc})

当 DCOR = 1 时，某些 MSP430F2xx 器件提供以下选项：通过连接到 DV_{CC} 的外部电阻器 R_{osc} 提供 DCO 电流。在这种情况下，DCO 具有与 MSP430x1xx 器件相同的特性，并且 RSELx 设置限制为 0 至 7，忽略 RSEL3。该选项提供了另一种通过改变电阻器的阻值来调整 DCO 频率的方法。详细参数请参阅《器件专用数据表》。

5.2.6 DCO 调制器

调制器混合了两种 DCO 频率 f_{DCO} 和 f_{DCO+1}，以在 f_{DCO} 和 f_{DCO+1} 之间产生有效中频并扩散时钟能量，从而降低电磁干扰 (EMI)。调制器在 32 个 DCOCLK 时钟周期内混合 f_{DCO} 和 f_{DCO+1}，并且可使用 MODx 位对其进行配置。当 MODx = 0 时，调制器关闭。

调制器混频公式为：

$$t = (32 - \text{MODx}) \times t_{\text{DCO}} + \text{MODx} \times t_{\text{DCO}+1}$$

f_{DCO} 低于有效频率，而 f_{DCO+1} 高于有效频率，因此有效频率的误差积分为零。它不会累积。每 32 个 DCOCLK 周期有效频率的误差为零。图 5-7 说明了调节器操作。

调节器设置和 DCO 控制都是用软件配置的。可以将 DCOCLK 与具有已知值的稳定频率进行比较，并通过 DCOx、RSELx 和 MODx 位对其进行调整。有关配置 DCO 的应用手册和示例代码，请访问 <http://www.msp430.com>。

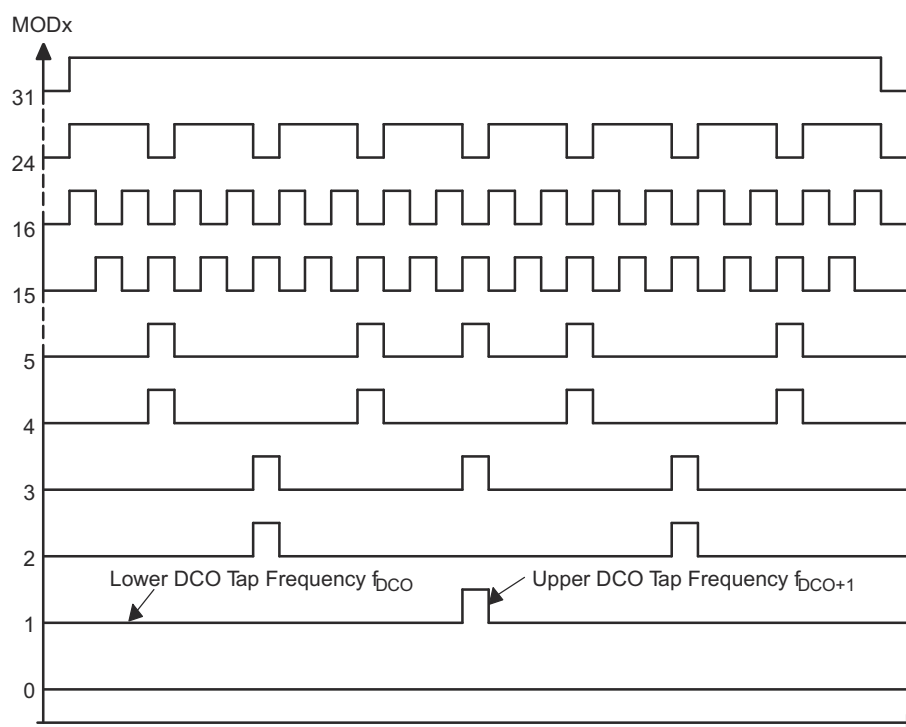


图 5-7. 调制器模式

5.2.7 基本时钟模块+ 失效防护操作

基本时钟模块+ 集成了一个振荡器故障的故障安全功能。该功能检测 LFXT1 和 XT2 的振荡器故障，如图 5-8 所示。可能失效的情况有：

- LF 模式下 LFXT1 的低频振荡器故障 (LFXT1OF)
- HF 模式下 LFXT1 的高频振荡器故障 (LFXT1OF)
- XT2 的高频振荡器故障 (XT2OF)

如果相应的晶体振荡器开启但无法正常工作，则设置晶体振荡器故障位 LFXT1OF 和 XT2OF。只要故障条件存在，故障位就会保持设置状态，如果启用的振荡器正常工作，则故障位会自动清除。

在 POR 或检测到振荡器故障 (LFXT1OF 或 XT2OF) 时，会设置并锁存 OFIFG 振荡器故障标志。设置 OFIFG 后，MCLK 来自 DCO，如果设置 OFIE，则 OFIFG 会请求 NMI 中断。允许该中断后，OFIE 会自动复位。必须由软件清零 OFIFG 标志位。可以通过测试各个故障位确定失效源。

如果检测到作为 MCLK 源的晶体振荡器出现故障，则 MCLK 会自动切换到 DCO 作为其时钟源。这不会更改 SELMx 位设置。这种情况由用户软件操作。

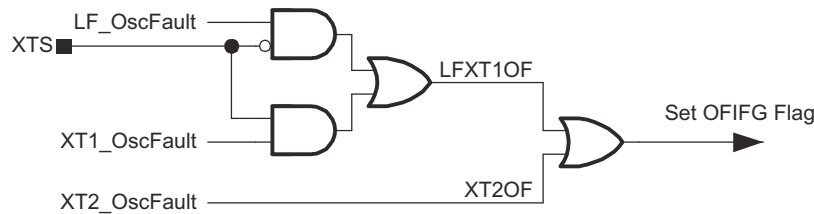


图 5-8. 振荡器故障逻辑

5.2.7.1 MCLK 以晶振为时钟源

一次 PUC 之后，基本时钟模块+ 将 DCOCLK 用于 MCLK。如果需要，MCLK 可以来自 LFXT1 或 XT2 (如果可用)。

将 MCLK 源从 DCO 时钟切换到晶体时钟 (LFXT1CLK 或 XT2CLK) 的序列是：

1. 打开晶体振荡器并选择合适的模式
2. 清零 OFIFG 标志
3. 等待至少 50uS
4. 测试 OFIFG，重复步骤 2 至 4，直到 OFIFG 保持清除状态。

```

; Select LFXT1 (HF mode) for MCLK
    BIC.W    #OSCOFF,SR           ; Turn on osc.
    BIS.B    #XTS,&BCSCTL1       ; HF mode
    MOV.B    #LFXT1S0,&BCSCTL3   ; 1-3MHz Crystal
L1    BIC.B    #OFIFG,&IFG1       ; Clear OFIFG
    MOV.W    #0FFh,R15          ; Delay
L2    DEC.W    R15               ;
    JNZ     L2                   ;
    BIT.B    #OFIFG,&IFG1       ; Re-test OFIFG
    JNZ     L1                   ; Repeat test if needed
    BIS.B    #SELM1+SELM0,&BCSCTL2 ; Select LFXT1CLK

```

5.2.8 时钟信号的同步

在将 MCLK 或 SMCLK 从一个时钟源切换到另一个时钟源时，切换会进行同步，以避免出现严重的竞态情况，如图 5-9 所示：

- 当前时钟周期持续到下一个上升沿。
- 时钟保持高电平直到新时钟的下一个上升沿。
- 新时钟源被选择并且持续全高电平一段时间。

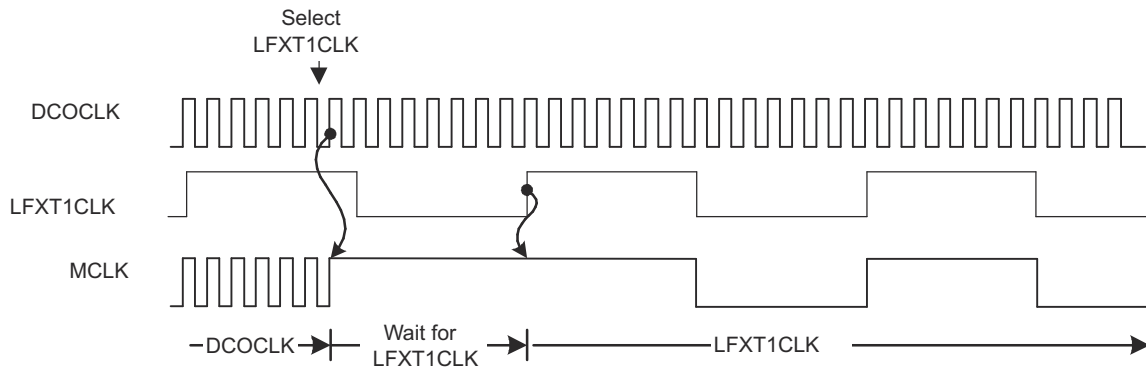


图 5-9. 把 MCLK 从 DCOCLK 切换至 LFXT1CLK

5.3 基本时钟模块+ 寄存器

表 5-1 列出了基本时钟模块+ 的存储器映射寄存器。

表 5-1. 基本时钟模块+ 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
56h	DCOCTL	DCO 控制	读取/写入	PUC 后为 60h	节 5.3.2
57h	BCSCTL1	基本时钟系统控制 1	读取/写入	POR 后为 87h ⁽¹⁾	节 5.3.3
58h	BCSCTL2	基本时钟系统控制 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 5.3.4
53h	BCSCTL3	基本时钟系统控制 3	读取/写入	PUC 后为 05h ⁽²⁾	节 5.3.5
00h	IE1	SFR 中断使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 5.3.6
02h	IFG1	SFR 中断标志 1	读取/写入	PUC 后为 02h	节 5.3.7

- (1) 有些寄存器位进行 POR 初始化，有些寄存器位进行 PUC 初始化（请参阅[节 5.3.3](#)）。
- (2) 在 MSP430AFE2xx 器件中，BCSCTL3 的初始状态为 000h。

5.3.1 DCOCTL 寄存器

DCO 控制寄存器

图 5-10 展示了 DCOCTL，表 5-2 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-10. DCOCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DCOx			MODx				
rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 5-2. DCOCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	DCOx	R/W	3h	DCO 频率选择。这些位会选择在 RSELx 设置定义的范围选择八个离散 DCO 频率中的哪一个。
4-0	MODx	R/W	0h	调制器选择。这些位定义了了在 32 个 DCOCLK 周期时段内使用 f_{DCO+1} 频率的频率。在剩余的时钟周期 (32 - MOD) 内，使用 f_{DCO} 频率。当 DCOx = 7 时不可用。

5.3.2 BCSCCTL1 寄存器

基本时钟系统控制 1 寄存器

图 5-11 展示了 BCSCCTL1，表 5-3 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-11. BCSCCTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
XT2OFF	XTS	DIVAx		RSELx			
rw-(1)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw - 0	rw - 1	rw-1	rw-1

表 5-3. BCSCCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	XT2OFF	R/W	1h	XT2 关闭。该位关闭 XT2 振荡器。 0b = XT2 开启 1b = 如果不用于 MCLK 或 SMCLK，则 XT2 关闭。
6	XTS ^{(1) (2)}	R/W	0h	LFXT1 模式选择 0b = 低频模式 1b = 高频模式
5-4	DIVAx	R/W	0h	ACLK 分压器 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
3-0	RSELx	R/W	7h	范围选择。16 个不同的频率范围可用。可以通过设置 RSELx = 0 来选择最低频率范围。当 DCOR= 1 时 RSEL3 被忽略。

- (1) MSP430x20xx 和 MSP430G2xx 器件不支持 XTS = 1 (有关所有器件所支持设置的详细信息，请参阅图 5-1 和图 5-2)。
 (2) MSP430AFE2xx 器件中保留该位。

5.3.3 BCSCTL2 寄存器

基本时钟系统控制 2 寄存器

图 5-12 展示了 BCSCTL2，表 5-4 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-12. BCSCTL2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SELMx		DIVMx		SELS	DIVSx		DCOR
rw - 0		rw - 0		rw - 0	rw - 0		rw - 0

表 5-4. BCSCTL2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	SELMx	R/W	0h	选择 MCLK。这些位选择 MCLK 源。 00b = DCOCLK 01b = DCOCLK 10b = XT2CLK (当片上存在 XT2 振荡器时)。LFXT1CLK 或 VLOCLK (当片上不存在 XT2 振荡器时)。 11b = LFXT1CLK 或 VLOCLK
5-4	DIVMx	R/W	0h	MCLK 分压器 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
3	SELS	R/W	0h	选择 SMCLK。该位选择 SMCLK 的来源。 0b = DCOCLK 1b = XT2CLK (当存在 XT2 振荡器时)。当没有 XT2 振荡器时，LFXT1CLK 或 VLOCLK。
2-1	DIVSx	R/W	0h	SMCLK 分压器 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
0	DCOR ^{(1) (2)}	R/W	0h	DCO 电阻选择。不适用于所有设备。参阅特定器件的数据表。 0b = 内部电阻器 1b = 外部电阻器

(1) 不适用于 MSP430x20xx 或 MSP430x21xx 器件。

(2) MSP430AFE2xx 器件中保留该位。

5.3.4 BCSCCTL3 寄存器

基本时钟系统控制 3 寄存器

图 5-13 展示了 BCSCCTL3，表 5-5 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-13. BCSCCTL3 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
XT2Sx		LFXT1Sx		XCAPx		XT2OF	LFXT1OF
rw - 0		rw - 0		rw - 0		rw - 1	r-0

表 5-5. BCSCCTL3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	XT2Sx	R/W	0h	<p>XT2 范围选择。这些位为 XT2 选择频率范围。</p> <p>00b = 0.4 至 1MHz 晶体或谐振器</p> <p>01b = 1 至 3MHz 晶体或谐振器</p> <p>10b = 3 至 16MHz 晶体或谐振器</p> <p>11b = 数字外部 0.4 至 16MHz 时钟源</p>
5-4	LFXT1Sx ⁽¹⁾	R/W	0h	<p>低频率时钟选择和 LFXT1 范围选择。当 XTS = 0 时，这些位在 LFXT1 和 VLO 之间进行选择，当 XTS = 1 时，这些位选择 LFXT1 的频率范围。</p> <p>MSP430G22x0：LFXT1Sx 位应在初始化和启动代码期间编程为 10b 以选择 VLOCLK（更多详细信息，请参阅“数字 I/O”一章）。其他位是保留位，不应更改。</p> <p>当 XTS = 0 时：</p> <p>00b = LFXT1 上的 32768Hz 晶体</p> <p>01b = 被保留</p> <p>10b = VLOCLK（在 MSP430F21x1 器件中保留）</p> <p>11b = 数字外部时钟源</p> <p>当 XTS = 1 时（不适用于 MSP430F20xx、MSP430G2xx1、MSP430G2xx2、MSP430G2xx3）：</p> <p>00b = 0.4 至 1MHz 晶体或谐振器</p> <p>01b = 1 至 3MHz 晶体或谐振器</p> <p>10b = 3 至 16MHz 晶体或谐振器</p> <p>11b = 数字外部 0.4 至 16MHz 时钟源</p> <p>MSP430AFE2xx 器件的 LFXT1Sx 定义：</p> <p>00b = 保留</p> <p>01b = 被保留</p> <p>10b = VLOCLK</p> <p>11b = 保留</p>

表 5-5. BCCTL3 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
3-2	XCAPx ⁽²⁾	R/W	1h	振荡器的电容选择。当 XTS = 0 时，这些位选择 LFXT1 晶体看到的有效电容。如果 XTS = 1 或 LFXT1Sx = 11，XCAPx 应该是 00。 MSP430AFE2xx 器件中保留该位。 00b = 大约 1pF 01b = 大约 6pF 10b = 大约 10pF 11b = 大约 12.5pF
1	XT2OF ⁽³⁾	R	0h	XT2 振荡器故障。 不适用于 MSP430x2xx、MSP430x21xx 或 MSP430x22xx 器件。 0b = 不存在故障情况 1b = 存在故障情况
0	LFXT1OF ⁽²⁾	R	1h	LFXT1 振荡器故障。 MSP430AFE2xx 器件中保留该位。 0b = 不存在故障情况 1b = 存在故障情况

- (1) MSP430G22x0 : LFXT1Sx 位应在初始化和启动代码期间编程为 10b 以选择 VLOCLK (更多详细信息，请参阅“数字 I/O”一章)。其他位是保留位，不应更改。
- (2) MSP430AFE2xx 器件中保留该位。
- (3) 不适用于 MSP430x2xx、MSP430x21xx 或 MSP430x22xx 器件。

5.3.5 IE1 寄存器

SFR 中断使能 1 寄存器

图 5-14 展示了 IE1，表 5-6 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-14. IE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
						OFIE	
rw-0							

表 5-6. IE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
1	OFIE ⁽¹⁾	R/W	0h	振荡器故障中断使能。该位使能 OFIFG 中断。由于 IE1 中的其他位可以用于其他模块中，建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令，而不是 MOV.B 或 CLR.B 指令来设置或清零该位。 MSP430G22x0：不应设置该位。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
0				该位可用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。

(1) MSP430G22x0：不应设置该位。

5.3.6 IFG1 寄存器

SFR 中断标志 1 寄存器

图 5-15 展示了 IFG1，表 5-7 中对此进行了介绍。

返回表 5-1。

图 5-15. IFG1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
						OFIFG	
rw-1							

表 5-7. IFG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
1	OFIFG ⁽¹⁾	R/W	1h	振荡器故障中断标志。IFG1 中的其他位可用于其他模块，因此建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令（而非 MOV.B 或 CLR.B 指令）设置或清除该位。 0b = 中断未挂起 1b = 中断挂起
0				该位可用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。

(1) MSP430G22x0：该器件不提供 LFXT1 振荡器引脚。振荡器故障标志将始终由硬件置位。不应设置中断使能位。

This page intentionally left blank.



在无需 CPU 干预的情况下，DMA 控制器模块可将数据从一个地址移动到另外一个地址。这一章将介绍 MSP430x5xx 器件系列中 DMA 控制器的操作。

6.1 DMA 介绍	294
6.2 DMA 操作	295
6.3 DMA 寄存器	308

6.1 DMA 介绍

直接存储器存取 (DMA) 控制器可以在全部地址范围内把数据从一个地址传输到另外一个地址，而无须 CPU 干预。例如，DMA 控制器可以把数据从 ADC12 转换存储器中直接传输到 RAM 中。

包含一个 DMA 控制器的器件可能有一个，两个，或三个可用的 DMA 通道。因此，根据 DMA 通道数量的不同，在这一章中有些特性并不适用于所有器件。

通过使用 DMA 控制器可增加外设模块的吞吐量。通过使 CPU 保持在睡眠模式，而无需将其唤醒从一个外设中移动数据，它也会减少系统功耗。

DMA 控制器的功能包括：

- 多达 8 个独立的传输通道
- 可配置的 DMA 通道的优先级
- 每次传输仅需要两个 MCLK 时钟周期
- 字节或字和混合字/字节传输能力
- 字区大小高达 65536 字节或字
- 可配置的传输触发选择
- 可选择的边沿或电平触发传输
- 四种寻址方式
- 单次，块，或突发块传输模式

在图 6-1 中给出了 DMA 控制器的结构图。

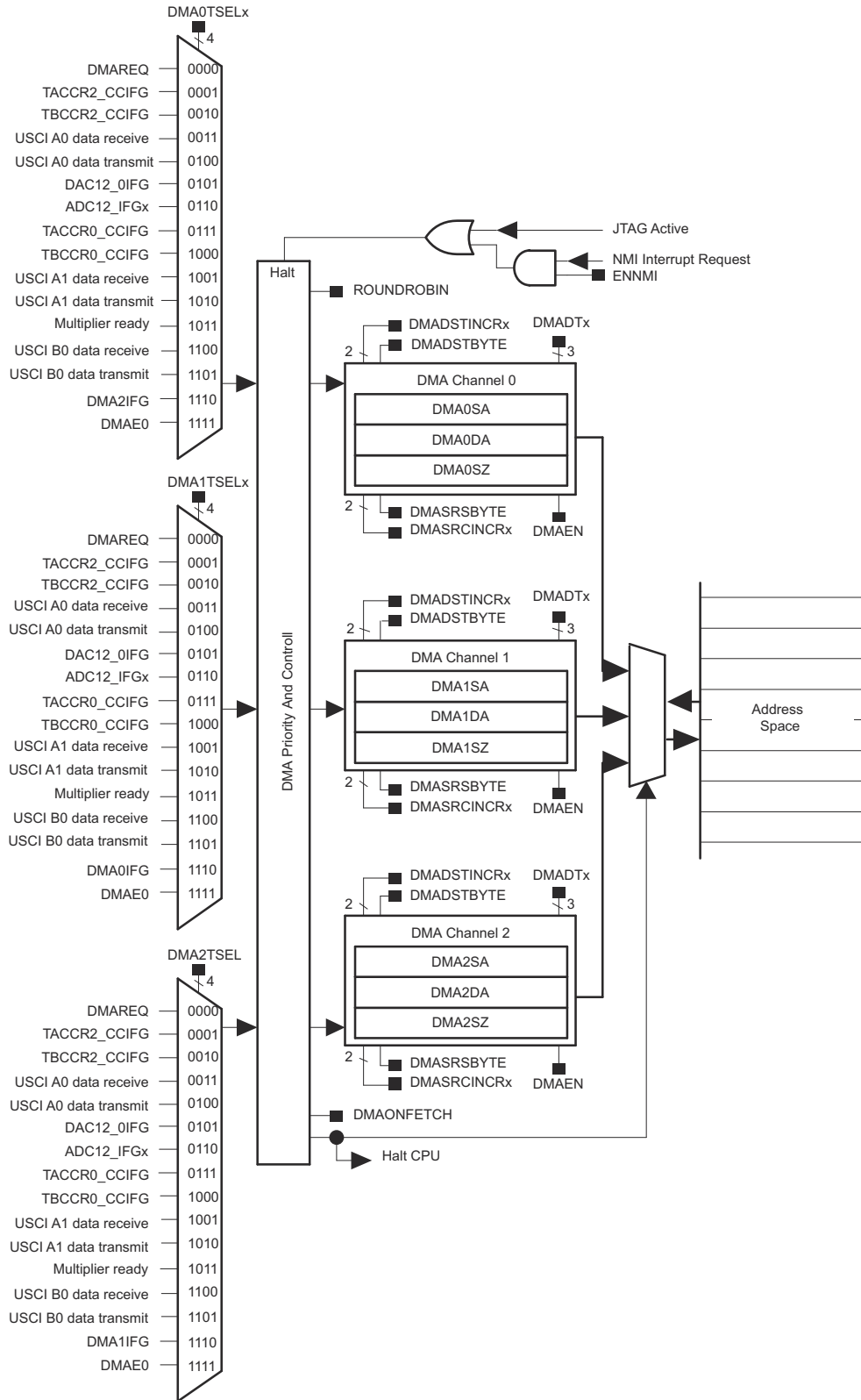


图 6-1. CAN 控制器结构图

6.2 DMA 操作

DMA 控制器由用户软件配置。DMA 的建立和操作将在下面的部分进行讨论。

6.2.1 DMA 寻址模式

DMA 控制器有四种寻址模式，每个 DMA 通道的寻址模式都可独立配置。例如，通道 0 可以在两个固定的地址间传输，而通道 1 可在地址的两个块间传输。在图 6-2 中给出了寻址模式。这些寻址模式是：

- 固定的地址到固定的地址
- 固定的地址到地址块
- 地址块到固定的地址
- 地址块到地址块

寻址方式由 **DMASRCINCRx** 和 **DMADSTINCRx** 控制位配置。**DMASRCINCRx** 位选择在每次传输结束后源地址是否不变、增加还是减少。**DMADSTINCRx** 位选择在每次传输结束后目标地址是否不变、增加还是减少。

传输可以是字节到字节、字到字、字节到字、或字到字节。当字到字节传输时，只有源字的低字节会被传输。当是字节到字传输时，目标字的高字节将会在传输发生的时候被清除。

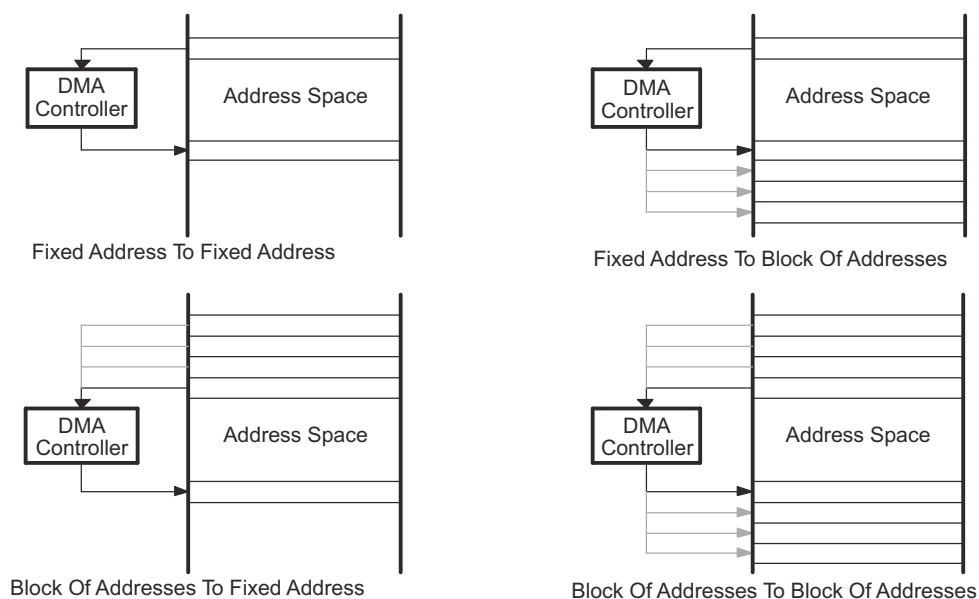


图 6-2. DMA 寻址模式

6.2.2 DMA 传输模式

如在表 6-1 中所给，DMA 控制器有六种传输模式，这些模式都由 DMADTx 位选择。每个通道都可以独立配置其传输模式。例如，通道 0 可配置为单字或单字节传输模式，而通道 1 配置为突发块传输模式，通道 2 采用重复块传输模式。传输模式独立于寻址模式进行配置。任何寻址模式都可以使用任何传输模式。

由 DMAxCTL DSTBYTE 和 SRCBYTE 区域选择的数据的两种类型可以被传输。源和/或目标位置都可以是字或字数据。它也可以在字节到字节、字到字或任何组合之间的进行传输。

表 6-1. DMA 传输模式

DMADTx	传输模式	说明
000	单字或单字节传输	每次传输都需要一个单独的触发。当 DMAxSZ 传输已经生成时 DMAEN 会被自动清零。
001	块传输	一个整块将会在一个触发后传输。在块传输结束时 DMAEN 会被自动清零。
010, 011	突发块传输	CPU 操作与块传输交叉进行。DMAEN 位会在突发块传输结束时自动清零。
100	重复单字或单字节传输	每次传输需要一个触发。DMAEN 保持被启用。
101	重复块传输	一个完整块传输需要一个触发。DMAEN 保持被启用。
110, 111	重复突发块传输	CPU 操作与块传输交叉进行。DMAEN 保持被启用。

6.2.2.1 单次传输

在单次传输模式中，每字节/字的传输都需要一个单独的触发。在图 6-3 中给出了单次传输状态图。

DMAxSZ 寄存器用来定义每次传输的数目。DMADSTINCRx 和 DMASRCINCRx 位用来选择在每次传输结束后目标地址和源地址是否增加或减少。如果 DMAxSZ=0，则没有传输发生。

DMAxSA，DMAxDA，和 DMAxSZ 寄存器都会被复制到临时寄存器中。在每次传输结束后，DMAxSA 和 DMAxDA 的临时值都会增加或者减少。在每次传输结束后 DMAxSZ 寄存器中的值会减少。当 DMAxSZ 寄存器的值减少至 0 时，将会从其临时寄存器中重载并且相应的 DMAIFG 标志将会置位。当 DMADTx=0 时，DMAEN 位将会被自动清零，当 DMAxSZ 减至 0 时必须为下一次传输的产生重新设置。

在重复的单次传输模式中，DMAEN=1 时 DMA 控制器保持被启用，每当一个触发后就会发生一个传输。

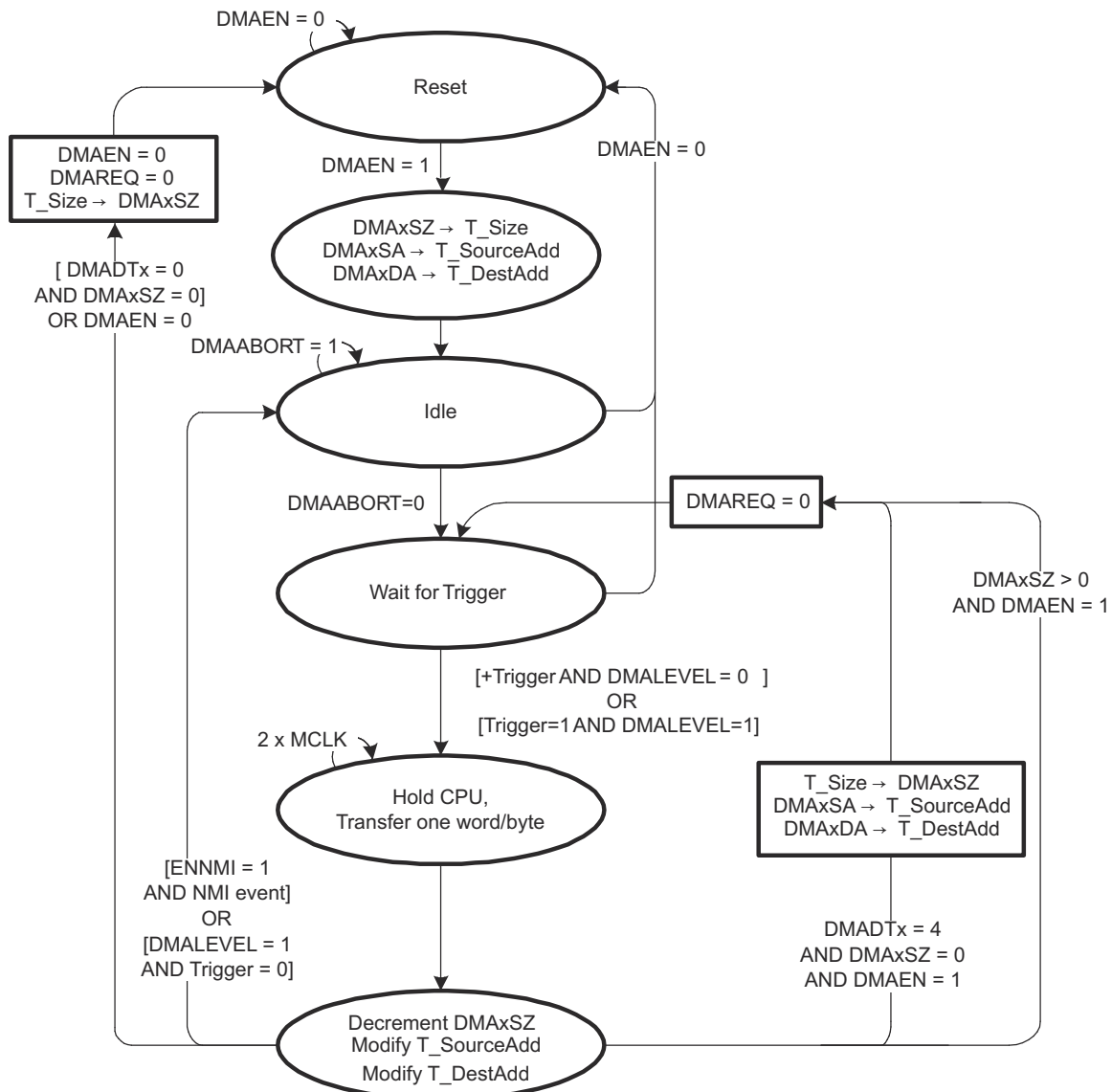


图 6-3. DMA 单次传输的状态图

6.2.2.2 块传输

在块传输模式中，数据的一个整块的一个传输将会在一个触发后开始传输。当 $DMADTx=1$ 时，在块传输结束后 $DMAEN$ 位将会被清零并需在另一个块传输被触发前重新置位。在一个块传输被触发后，在块传输的过程中接下来的触发信号将会被忽略。在图 6-4 中给出了块传的输状态图。

$DMAxSZ$ 寄存器用来定义块的大小， $DMADSTINCRx$ 和 $DMASRCINCRx$ 位用来选择在每次块传输结束后目标地址和源地址是否增加或减少。如果 $DMAxSZ=0$ ，则没有块传输发生。

$DMAxSA$ ， $DMAxDA$ ，和 $DMAxSZ$ 寄存器都会被复制到临时寄存器中。在每次块传输结束后， $DMAxSA$ 和 $DMAxDA$ 的临时值都会增加或者减少。在每次块传输结束后 $DMAxSZ$ 寄存器中的值会减少并且会指示块中还剩余多少数据。当 $DMAxSZ$ 寄存器的值减少至 0 时将会从其临时寄存器中重载并且相应的 $DMAIFG$ 标志将被置位。

在一个块传输中，在块传输完成时 CPU 将会暂停。块传输将用 $2 \times MCLK \times DMAxSZ$ 个时钟周期来完成。在块传输完成后 CPU 将会以其先前的状态继续执行。

在重复块传输模式中，在每个块传输完成后 $DMAEN$ 位将保持置位。在一个重复块传输的一个完成后，下一个触发将触发另一个块传输。

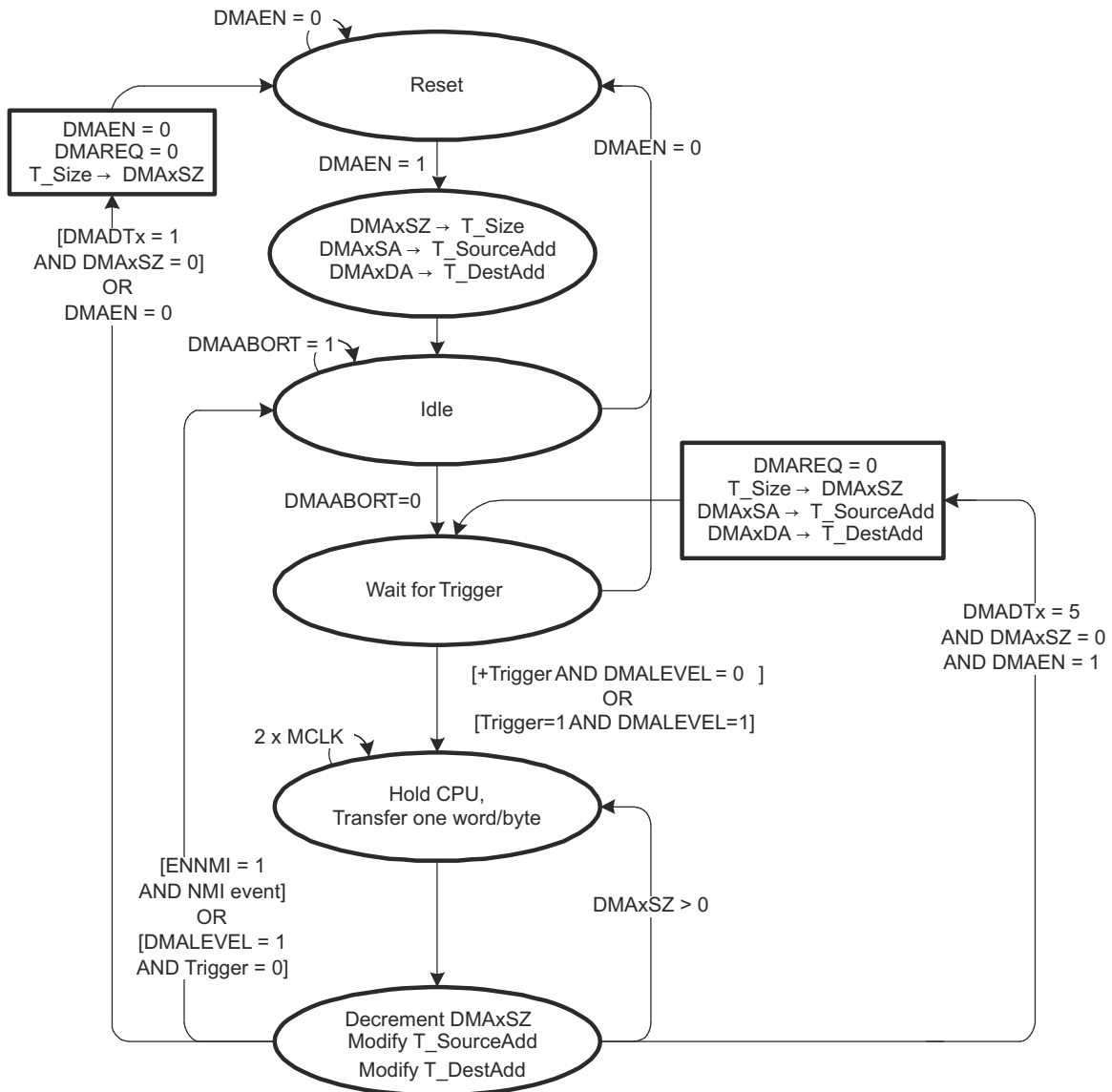


图 6-4. DMA 块传输的状态图

6.2.2.3 突发块传输

在突发模式中，传输是在 CPU 交叉存取下的块传输。在每个块的四个字节/字传输后，CPU 将运行 2 个 MCLK 周期，如此导致了 20% 的 CPU 运行容量。在突发块之后，CPU 将会在 100% 的容量下运行并且 DMAEN 位将被清零。在另一个突发块传输被触发前 DMAEN 位必须重新置位。在一个突发块传输被触发后，在突发块传输期间，接下来的触发信号将会被忽略。在图 6-5 中给出了突发块传输的状态图。

DMAxSZ 寄存器用来定义块的大小，且 DMADSTINCRx 和 DMASRCINCRx 用来选择在每次块传输后目标地址和源地址是否增加或者减少。如果 DMAxSZ=0，则没有块传输发生。

DMAxSA，DMAxDA，和 DMAxSZ 寄存器都会被复制到临时寄存器中。在每次块传输结束后，DMAxSA 和 DMAxDA 的临时值都会增加或者减少。在每次块传输结束后 DMAxSZ 寄存器中的值会减少并且会指示块中还剩余多少数据。当 DMAxSZ 寄存器的值减少至 0 时将会从其临时寄存器中重载并且相应的 DMAIFG 标志将被置位。

在重复突发块模式中，在突发块传输完成后，DMAEN 位将保持置位且不再需要额外的触发信号来启动另一次突发块传输。另一个突发块传输将在一个突发块传输完成后立即开始。在这种情况下，通过清零 DMAEN 位必须停止传输，或当 ENNMI 被置位时由一个 NMI 中断引起。在重复突发块模式中，CPU 持续在 20% 的容量运行直到重复突发块传输停止。

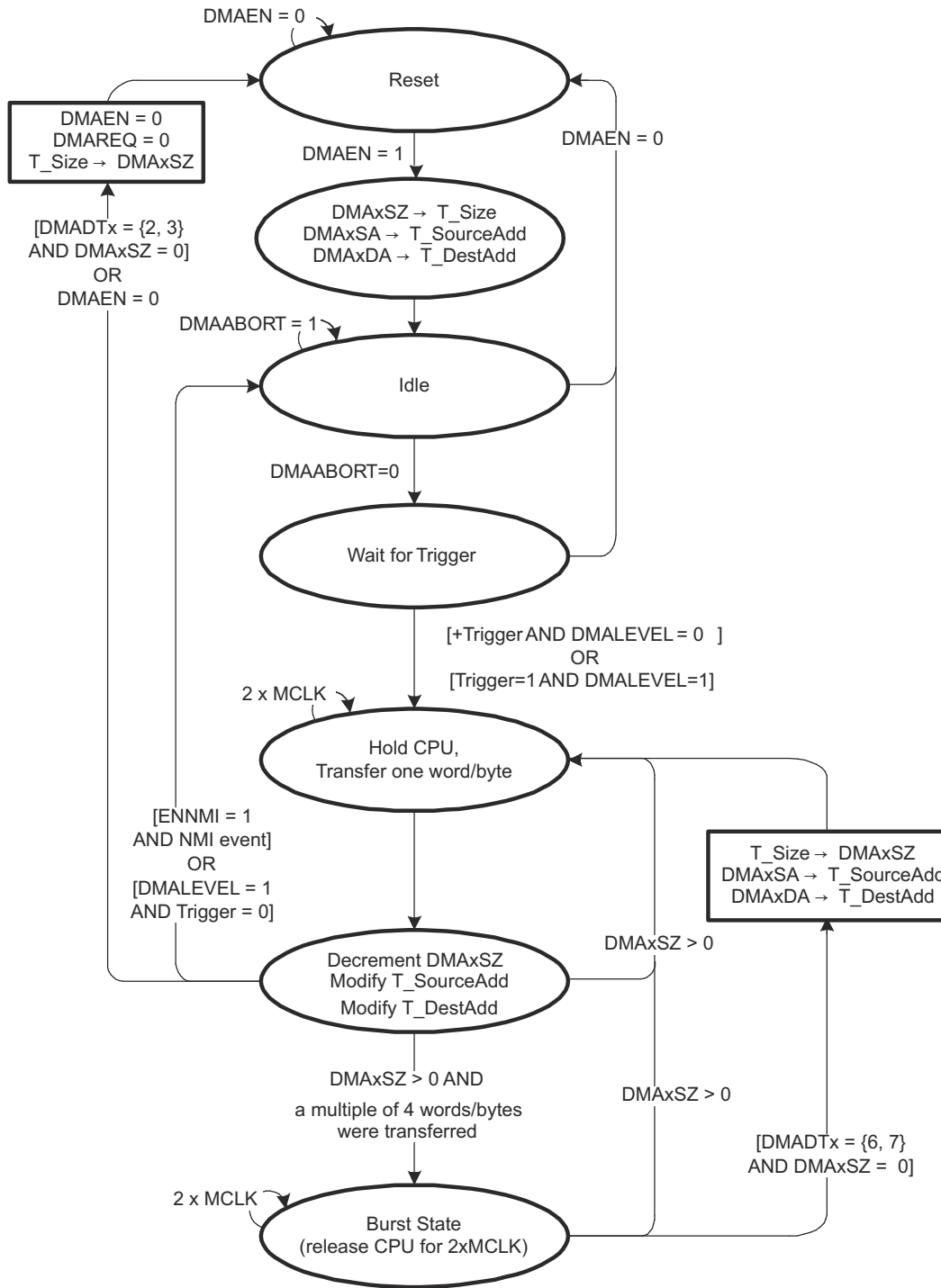


图 6-5. DMA 突发块传输的状态图

6.2.3 初始化 DMA 传输

每个 DMA 通道都可以独立的由 DMAxTSELx 位配置为自身的触发源，如在表 6-2 中所述。只有当 DMACTLx DMAEN 位为 0 时，才应修改 DMAxTSELx 位。否则，不确定的 DMA 触发或许会发生。

当选择触发时，必须确保触发还没有发生，或传输将不会发生。例如，如果 TACCR2 CCIFG 位被选作一个触发，并且它已经被置位时，将不会发生转移直到下一次 TACCR2 CCIFG 位被置位。

6.2.3.1 边沿触发的触发器

当 DMALEVEL=0 时，边沿触发将被使用并且有触发信号的上升沿初始化该传输。在单次传输模式中，每次传输都需要其自身的触发。当使用块或者突发块模式时，仅需要一个触发来启动块或者突发块传输。

6.2.3.2 电平触发的触发器

当 DMALEVEL=1 时，使用电平触发的触发器。为了适当的操作，电平触发的触发器仅用在当外部触发 DMAE0 被选做触发时。只要触发源信号为高电平就会有 DMA 传输被触发并且 DMAEN 位保持置位。

为了块或突发块传输的完成，触发信号必须保持为高电平在一个块或突发块传输时，如果触发信号变低，则 DMA 控制器将会保持在当前状态直到触发变高或者直到 DMA 寄存器被软件修改。如果 DMA 寄存器没被软件修改，当触发信号再次变高时，传输将会恢复到触发信号变低的那个状态。

当 DMALEVEL=1 时，建议当 DMADTx = {0, 1, 2, 3} 时选择传输模式时，因为 DMAEN 位是在传输配置后自动置位的。

6.2.3.3 DMA 传输的暂停执行指令

DMAONFETCH 位控制何时 CPU 为一个 DMA 传输暂停时。当 DMAONFETCH=0 时，CPU 立即被暂停且当接受到一个触发信号时传输开始。当 DMAONFETCH=1 时，CPU 将会在 DMA 控制器暂停 CPU 和传输开始前完成当前的执行指令。

备注

DMA 写入闪存时必须使用 DMAONFETCH

如果 DMA 控制器用于对闪存进行写入，则必须设置 DMAONFETCH 位。否则，可能会导致不可预知的操作。

表 6-2. DMA 触发操作

DMAxTSELx	运行
0000	当 DMAREQ 位被置位时一个传输被触发。当该传输开始时 DMAREQ 位自动复位。
0001	当 DMAxIFG 标志置位时一个传输被触发。当该传输开始时 TACCR2 CCIFG 标志自动复位。如果 TACCR2 CCIE 位被置位，TACCR2 CCIFG 标志将不会触发一个传输。
0010	当 TBCCR2 CCIFG 标志置位时一个传输被触发。当该传输开始时 TBCCR2 CCIFG 标志自动复位。如果 TBCCR2 CCIE 位被置位，TBCCR2 CCIFG 标志将不会触发一个传输。
0011	当串行接口接收到新的数据时会触发一个传输。 具有 USCI_A0 模块的器件：当 USCI_A0 接收到新数据时触发传输。传输开始后 UCA0RXIFG 自动复位。如果 UCA0RXIE 被置位，UCA0RXIFG 标志将不会触发一个传输。
0100	当串行接口准备好传输一个新的数据时会触发一个传输。 具有 USCI_A0 模块的器件：当 USCI_A0 为传输新数据做好准备时触发传输。传输开始后 UCA0TXIFG 自动复位。如果 UCA0TXIE 被置位，UCA0TXIFG 标志将不会触发一个传输。
0101	当 DAC12_0CTL DAC12IFG 标志被置位时会触发一个传输。传输开始时 DAC12_0CTL DAC12IFG 标志会自动清零。如果 DAC12_0CTL DAC12IE 位被置位，DAC12_0CTL DAC12IFG 标志将不会触发一个传输。
0110	用 ADC12IFGx 标志来触发一个传输。当执行单通道转换后，相应的 ADC12IFGx 会被触发。如果用序列转换，ADC12IFGx 在转换序列中的最后一次转换被触发。在转换完成后传输被触发并且 ADC12IFGx 被置位。软件设置 ADC12IFGx 不会触发一个传输。当相关的 ADC12MEMx 寄存器被 DMA 控制器访问时，所有的 ADC12IFGx 标志会自动复位。

表 6-2. DMA 触发操作 (continued)

DMAxTSELx	运行
0111	当 TACCR0 CCIFG 标志被置位时一个传输被触发。当该传输开始时 TACCR0 CCIFG 标志自动复位。如果 TACCR0 CCIE 位被置位, TACCR0 CCIFG 标志将不会触发一个传输。
1000	当 TBCCR0 CCIFG 标志被置位时一个传输被触发。当该传输开始时 TBCCR0 CCIFG 标志自动复位。如果 TBCCR0 CCIE 位被置位, TBCCR0 CCIFG 标志将不会触发一个传输。
1001	当 UCA1RXIFG 标志被置位时一个传输被触发。传输开始后 UCA1RXIFG 自动复位。如果 URXIE1 被置位, UCA1RXIFG 标志将不会触发一个传输。
1010	当 UCA1TXIFG 标志被置位时一个传输被触发。传输开始后 UCA1TXIFG 自动复位。如果 UTXIE1 被置位, UCA1TXIFG 标志将不会触发一个传输。
1011	在硬件乘法器准备一个新的操作数时会触发一个传输。
1100	没有传输被触发。 具有 USCI_B0 模块的器件: 当 USCI_B0 接收到新数据时触发传输。传输开始后 UCB0RXIFG 自动复位。如果 UCB0RXIE 被置位, UCB0RXIFG 标志将不会触发一个传输。
1101	没有传输被触发。 具有 USCI_B0 模块的器件: 当 USCI_B0 为传输新数据做好准备时触发传输。传输开始后 UCB0TXIFG 自动复位。如果 UCB0TXIE 被置位, UCB0TXIFG 标志将不会触发一个传输。
1110	当 DMAxIFG 标志被置位时一个传输被触发。DMA0IFG 触发通道 1, DMA1IFG 触发通道 2, DMA2IFG 触发通道 0。当传输开始时没有 DMAxIFG 标志会自动复位。
1111	通过外部触发 DMAE0 来触发一个传输。

6.2.4 停止 DMA 传输

有两种方法可以停止正在进行的 DMA 传输:

- 如果 DMACTL1 寄存器的 ENNMI 位被置位, 一个单次, 块, 或突发块传输可以被一个 NMI 中断所停止。
- 可以通过清零 DMAEN 位来停止一个突发块传输。

6.2.5 DMA 通道的优先级

默认的 DMA 通道优先级是 DMA0-DMA1-DMA2。如果两个或三个触发同时发生或者挂起，拥有最高优先级的通道将会首先完成传输（单次，块或者突发块传输），然后是第二优先级的通道，最后是第三优先级的通道。如果一个较高优先级的通道被触发，进行中的传输中将不会被暂停。一直到进行中的传输完成后较高优先级的传输才开始。

DMA 通道的优先级由 ROUNDROBIN 位配置。当 ROUNDROBIN 位被置位时，完成一个传输的通道的优先级会变为最低。通道的优先级的顺序总保持相同，DMA0-DMA1-DMA2（请参阅表 6-3）。

表 6-3. 通道的优先级

DMA 优先级	传输发生	新的 DMA 优先级
DMA0 - DMA1 - DMA2	DMA1	DMA2 - DMA0 - DMA1
DMA2 - DMA0 - DMA1	DMA2	DMA0 - DMA1 - DMA2
DMA0 - DMA1 - DMA2	DMA0	DMA1 - DMA2 - DMA0

当 ROUNDROBIN 位被清零时，通道的优先级回到默认优先级。

6.2.6 DMA 传输周期

在每次单传输或者完整块或者突发块传输前 DMA 控制器需要一个或两个 MCLK 时钟周期来同步。同步后每个字节/字传输需要两个 MCLK 周期，且传输后有一个周期的等待时间。因为 DMA 控制器使用 MCLK，所以 DMA 周期决定于 MSP430 的操作模式和时钟系统的设置。

如果 MCLK 源活动，但是 CPU 关闭，则 DMA 控制器将使用 MCLK 源来完成每次传输，而无需重新启用 CPU。当 MCLK 源关闭时，DMA 控制器将临时重新开启 MCLK，以 DCOCLK 为源，以便完成单次传输或者整块或者突发块传输。且在传输完成后，CPU 保持关闭，MCLK 关闭。各种操作模式下的最大 DMA 周期见表 6-4。

表 6-4. 最大单次传输 DMA 周期

CPU 操作模式	时钟源	最大 DMA 周期
激活模式	MCLK=DCOCLK	4 个 MCLK 周期
激活模式	MCLK=LFXT1CLK	4 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM0/1	MCLK=DCOCLK	5 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM3/4	MCLK=DCOCLK	5 个 MCLK 周期 + 6 μ s ⁽¹⁾
低功耗模式 LPM0/1	MCLK=LFXT1CLK	5 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM3	MCLK=LFXT1CLK	5 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM4	MCLK=LFXT1CLK	5 个 MCLK 周期 + 6 μ s ⁽¹⁾

(1) 额外的 6 μ s 用于需要启动 DCOCLK。它是数据手册中的 $t_{(LPMx)}$ 参数。

6.2.7 使用带有系统中断的 DMA

DMA 传输不会被系统中断所打断。系统中断将会保持挂起直到传输完成。如果 ENNMI 位被置位的话，NMI 中断可以中断 DMA 控制器。

系统中断服务子程序将会被 DMA 传输打断。如果系统中断服务子程序或者其他程序必须在没有中断的情况下运行，则 DMA 控制器必须在该子程序被执行前被禁止。

6.2.8 DMA 控制器中断

每个 DMA 通道都有自己的 DMAIFG 标志。当相应的 DMAxSZ 寄存器计数到 0 时，每个 DMAIFG 标志都可以在任何模式下被设置。如果相应的 DMAIE 和 GIE 位都被设置，则会产生一个中断请求。

所有的 DMAIFG 标志只源自 DMA 控制器中断向量且，在一些器件上，可以和其他模块分享该中断向量。进一步更多详细信息请参阅《特定器件的数据手册》。对这些器件来说，软件必须检查 DMAIFG 和相应的模块标志来判断中断源。DMAIFG 标志不会自动复位且必须由软件复位。

此外，一些器件使用 DMAIV 寄存器。为了源自同一个中断向量源，所有 DMAIFG 标志都被优先级化，和正成为最高优先级的 DMA0IFG 一起，被结合在一起。最高优先级的被启用的中断产生在 DMAIV 寄存器中生成了一个数字。为了自动进入相应的软件程序，可以对这个数字进行评估，或将其添加到程序计数器。禁用的 DMA 中断不影响 DMAIV 的值。

任何对 DMAIV 寄存器的访问，读取，或写入都将自动复位最高优先级的那个挂起的中断标志。如果另一个中断标志被置位，则另一个中断将会在最初的中断服务结束后立即产生。例如，假设 DMA0 有最高的优先级。如果 DMA0IFG 和 DMA2IFG 标志被置位，当中断服务子程序在访问 DMAIV 寄存器时，DMA0IFG 会自动复位。在中断服务子程序执行完 RETI 指令后，DMA2IFG 将会生成另一个中断。

下面的软件示例是 DMAIV 和处理开销的推荐用法。为了自动跳转到相应的程序，DMAIV 值将被添加到 PC。

在右边距的数字显示了每条指令所需的 CPU 周期。不同中断源的软件开销包括中断延迟时间和从中断返回周期，但不包含处理本身的任务。

示例 6-1. DMAIV 软件示例

;Interrupt handler for DMA0IFG, DMA1IFG, DMA2IFG		Cycles
DMA_HND	...	; Interrupt latency 6
	ADD &DMAIV, PC	; Add offset to Jump table 3
	RETI	; Vector 0: No interrupt 5
	JMP DMA0_HND	; Vector 2: DMA channel 0 2
	JMP DMA1_HND	; Vector 4: DMA channel 1 2
	JMP DMA2_HND	; Vector 6: DMA channel 2 2
	RETI	; Vector 8: Reserved 5
	RETI	; Vector 10: Reserved 5
	RETI	; Vector 12: Reserved 5
	RETI	; Vector 14: Reserved 5
DMA2_HND	...	; Vector 6: DMA channel 2
	...	; Task starts here
	RETI	; Back to main program 5
DMA1_HND	...	; Vector 4: DMA channel 1
	...	; Task starts here
	RETI	; Back to main program 5
DMA0_HND	...	; Vector 2: DMA channel 0
	...	; Task starts here
	RETI	; Back to main program 5

6.2.9 在 DMA 控制器下使用 USCI_B I²C 模块

USCI_B I²C 模块为 DMA 控制器提供了两个触发源。当接收到 I²C 数据且当需要传输该数据时，USCI_B I²C 模块可以触发一个传输。

如果 UCB0RXIFG 被置位会触发一个传输。当 DMA 控制器应答该传输时 UCB0RXIFG 会自动清零。如果 UCB0RXIE 被置位，UCB0RXIFG 将不会触发一个传输。

如果 UCB0TXIFG 被置位会触发一个传输。当 DMA 控制器应答该传输时 UCB0TXIFG 会自动清零。如果 UCB0TXIE 被置位，UCB0TXIFG 将不会触发一个传输。

6.2.10 在 DMA 控制器下使用 ADC12

拥有一个集成的 DMA 控制器的 MSP430 器件可以自动地把数据从任何 ADC12MEMx 寄存器移动到任何位置。DMA 传输可以在没有 CPU 的干预下完成并且不受任何低功耗模式的影响。ADC12 模块增加了 DMA 控制器的吞吐量，并且当数据传输发生时，通过允许 CPU 保持在关闭状态来提高低功耗应用的性能。

DMA 传输可以被任何 ADC12IFGx 标志触发。当 CONSEQx={0, 2} 时，被用作转换的 ADC12MEMx 的 ADC12IFGx 标志可以触发一个 DMA 传输。当 CONSEQx={1, 3} 时，在顺序转换中的最后一个 ADC12MEMx 的 ADC12IFGx 标志可以触发一个 DMA 传输。当 DMA 控制器访问相应的 ADC12MEMx 的时候，任何 ADC12IFGx 标志都会被自动清零。

6.2.11 在 DMA 控制器下使用 DAC12

拥有一个集成的 DMA 控制器的 MSP430 器件可以自动地把数据移动到 DAC12_xDAT 寄存器。DMA 传输可以在没有 CPU 的干预下完成并且不受任何低功耗模式的影响。DMA 控制器增加了 DAC12 模块的吞吐量，并且当数据传输发生的时候，CPU 可以保持在关闭状态，这提高了低功耗应用的性能。

需要周期性波形生成的应用程序可以受益于使用 DMA 控制器的 DAC12。例如，一个产生正弦波的应用程序可以把正弦波的值存储在一个表格中。为了产生正弦波，DMA 控制器可以在特定的时间间隔内自动地并且连续不断地把这些值传输到 DAC12，并且不需要 CPU 的执行。当 DMA 控制器访问 DAC12_xDAT 寄存器时，DAC12_xCTL DAC12IFG 标志将会被自动清零。

6.2.12 在 DMA 控制器下写入闪存

带有一个集成的 DMA 控制器的 MSP430 器件可以自动地把数据移动到闪存存储器中。DMA 传输可以在没有 CPU 的干预下完成并且不受任何低功耗模式的影响。DMA 控制器会把数据字/字节移动到闪存。写入时序控制是由闪存控制器完成的。如果在闪存控制器被设置先于 DMA 传输且如果闪存不忙，转移到闪存存储器的写入就会成功。要设置闪存控制器的写入访问，请参阅《闪存存储器控制器章节》。

6.3 DMA 寄存器

表 6-5 列出了 DMA 的存储器映射寄存器。表 6-5 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-5. DMA 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
122h	DMACTL0	DMA 控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.2
124h	DMACTL1	DMA 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.3
126h	DMAIV	DMA 中断向量	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.8
1D0h	DMA0CTL	DMA 通道 0 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.4
1D2h	DMA0SA	DMA 通道 0 源地址	读取/写入	未改变	节 6.3.5
1D6h	DMA0DA	DMA 通道 0 目标地址	读取/写入	未改变	节 6.3.6
1DAh	DMA0SZ	DMA 通道 0 传送大小	读取/写入	未改变	节 6.3.7
1DCh	DMA1CTL	DMA 通道 1 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.4
1DEh	DMA1SA	DMA 通道 1 源地址	读取/写入	未改变	节 6.3.5
1E2h	DMA1DA	DMA 通道 1 目标地址	读取/写入	未改变	节 6.3.6
1E6h	DMA1SZ	DMA 通道 1 发送尺寸	读取/写入	未改变	节 6.3.7
1E8h	DMA2CTL	DMA 通道 2 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 6.3.4
1EAh	DMA2SA	DMA 通道 2 源地址	读取/写入	未改变	节 6.3.5
1EEh	DMA1DA	DMA 通道 2 目标地址	读取/写入	未改变	节 6.3.6
1F2h	DMA2SZ	DMA 通道 2 发送尺寸	读取/写入	未改变	节 6.3.7

6.3.1 DMACTL0 寄存器

DMA 控制 0 寄存器

图 6-6 展示了 DMACTL0，表 6-6 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-6. DMACTL0 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留				DMA2TSELx			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMA1TSELx				DMA0TSELx			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 6-6. DMACTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	保留	R/W	0h	
11-8	DMA2TSELx	R/W	0h	DMA 的触发选择。这些位选择 DMA 的传输触发。 0000b = DMAREQ 位 (软件触发) 0001b = TACCR2 CCIFG 位 0010b = TBCCR2 CCIFG 位 0011b = 接收到串行数据 UCA0RXIFG 0100b = 串行数据传输就绪 UCA0TXIFG 0101b = DAC12_OCTL DAC12IFG 位 0110b = ADC12 ADC12IFGx 位 0111b = TACCR0 CCIFG 位 1000b = TBCCR0 CCIFG 位 1001b = 接收到串行数据 UCA1RXIFG 1010b = 串行数据传输就绪 UCA1TXIFG 1011b = 乘法器就绪 1100b = 接收到串行数据 UCB0RXIFG 1101b = 串行数据传输就绪 UCB0TXIFG 1110b = DMA0IFG 位触发 DMA 通道 1 DMA1IFG 位触发 DMA 通道 2 DMA2IFG 位触发 DMA 通道 0 1111b = 外部触发 DMAE0
7-4	DMA1TSELx	R/W	0h	同 DMA2TSELx 一样
3-0	DMA0TSELx	R/W	0h	同 DMA2TSELx 一样

6.3.2 DMACTL1 寄存器

DMA 控制 1 寄存器

图 6-7 展示了 DMACTL1，表 6-7 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-7. DMACTL1 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8	
保留								
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	
7	6	5	4	3	2	1	0	
保留						DMAONFETCH	ROUNDROBIN	ENNMI
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	

表 6-7. DMACTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-3	保留	R	0h	
2	DMAONFETCH	R/W	0h	DMA 上读取 0b = DMA 传输立即发生。 1b = DMA 传输发生在触发后的下一次指令提取时。
1	ROUNDROBIN	R/W	0h	轮循。该位启用轮循 DMA 通道优先级。 0b = DMA 通道优先级为 DMA0、DMA1、DMA2 1b = DMA 通道优先级在每次传输时发生变化
0	ENNMI	R/W	0h	启用 NMI。该位通过一个 NMI 中断来启用一个 DMA 传输中断。当一个 NMI 中断一个 DMA 传输时，当前传输正常完成，接下来的传输被停止，DMAABORT 被置位。 0b = NMI 中断不会导致 DMA 传输中断 1b = NMI 中断会导致 DMA 传输中断

6.3.3 DMAxCTL 寄存器

DMA 通道 x 控制寄存器

图 6-8 展示了 DMAxCTL，表 6-8 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-8. DMAxCTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留	DMADTx			DMADSTINCRx		DMASRCINCRx	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMADSTBYTE	DMASRCBYTE	DMALEVEL	DMAEN	DMAIFG	DMAIE	DMAABORT	DMAREQ
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 6-8. DMAxCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	保留	R/W	0h	保留
14-12	DMADTx	R/W	0h	DMA 传输模式 000b = 单次传输 001b = 块传输 010b = 突发块传输 011b = 突发块传输 100b = 重复单次传输 101b = 重复块传输 110b = 重复突发块传输 111b = 重复突发块传输
11-10	DMADSTINCRx	R/W	0h	DMA 的目标增量。在每个字节或字传输后该位选择目的地址的自动递增或递减。当 DMADSTBYTE = 1 时，目标地址递增或递减一。当 DMADSTBYTE = 0 时，目标地址递增或递减二。DMAxDA 被复制到一个临时的寄存器中，且这个临时寄存器是递增或递减。DMAxDA 不会增加或者减小。 00b = 目标地址不变 01b = 目标地址不变 10b = 目标地址递减 11b = 目标地址递增
9-8	DMASRCINCRx	R/W	0h	DMA 源增量。在每个字节/字传输完成后此位选择源地址自动递增或递减。当 DMASRCBYTE = 1 时，源地址递增或递减一。当 DMASRCBYTE = 0 时，源地址递增或递减二。DMAxSA 被复制到一个临时的寄存器中，且这个临时寄存器将是递增或递减。DMAxSA 不会增加或者减少。 00b = 源地址不变 01b = 源地址不变 10b = 源地址递减 11b = 源地址递增
7	DMADSTBYTE	R/W	0h	DMA 目标字节。此位选择目标作为字节或字。 0b = 字 1b = 字节
6	DMASRCBYTE	R/W	0h	DMA 源字节。此位选择源作为字节或字。 0b = 字 1b = 字节

表 6-8. DMAxCTL 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
5	DMALEVEL	R/W	0h	DMA 电平此位在边沿敏感或电平敏感之间选择。 0b = 边沿敏感 (上升沿) 1b = 电平敏感 (高电平)
4	DMAEN	R/W	0h	DMA 使能 0b = 被禁用 1b = 被使能
3	DMAIFG	R/W	0h	DMA 中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	DMAIE	R/W	0h	DMA 中断使能 0b = 被禁用 1b = 被使能
1	DMAABORT	R/W	0h	DMA 中断。此位表明一个 DMA 传输被一个 NMI 中断。 0b = DMA 传输未被中断 1b = DMA 传输被 NMI 中断
0	DMAREQ	R/W	0h	DMA 请求。软件控制的 DMA 启动。DMAREQ 被自动复位。 0b = 无 DMA 启动 1b = 起始 DMA

6.3.4 DMAxSA 寄存器

DMA 通道 x 的源地址寄存器

图 6-9 展示了 DMAxSA，表 6-9 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-9. DMAxSA 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0
保留				DMAxSA			
r-0	r-0	r-0	r-0	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8
DMAxSA							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMAxSA							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 6-9. DMAxSA 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	DMAxSA	R/W	未更改	<p>DMA 源地址</p> <p>源地址寄存器指向单次传输 DMA 源地址或者指向块传输的第一个源地址。源地址寄存器在块或者和突发块传输中保持不变。</p> <p>可寻址存储器范围为 64KB 或更小的器件包含用于 DMAxSA 的单字。当用字操作写入时，上部字会被自动清零。从这个位置读取总是读为 0。</p> <p>可寻址存储器范围大于 64KB 的器件包含一个用于源地址的附加字。新增加字的 15-4 位被保留且始终读为 0。当用字格式写入 DMAxSA 时，这个额外的字会被自动清零。在使用字格式读取该附加字时，读取结果始终为零。</p>

6.3.5 DMAxDA 寄存器

DMA 通道 x 的目标地址寄存器

图 6-10 展示了 DMAxDA，表 6-10 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-10. DMAxDA 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0
保留				DMAxDA			
r-0	r-0	r-0	r-0	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8
DMAxDA							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMAxDA							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 6-10. DMAxDA 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	DMAxDA	R/W	未更改	<p>DMA 目标地址</p> <p>目的地址寄存器指向单次传输 DMA 目的地址或者指向块传输的第一个目的地址。目的地址寄存器在块或者和突发块传输中保持不变。可寻址存储器范围为 64KB 或更小的器件包含用于 DMAxDA 的单字。</p> <p>可寻址存储器范围大于 64KB 的器件包含一个用于目标地址的附加字。新增加字的 15-4 位被保留且始终读为 0。当用字格式写入 DMAxDA 时，这个额外的字会被自动清零。在使用字格式读取该附加字时，读取结果始终为零。</p>

6.3.6 DMAxSZ 寄存器

DMA 通道 x 大小寄存器

图 6-11 展示了 DMAxSZ，表 6-11 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-11. DMAxSZ 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
DMAxSZ							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMAxSZ							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 6-11. DMAxSZ 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	DMAxSZ	R/W	未更改	<p>DMA 大小。DMA 大小寄存器定义了每个块传输的字节/字的数量。DMAxSZ 寄存器伴随着每个字/字节传输递减。当 DMAxSZ 减至 0 时，以前被初始化时的值会马上自动重载。</p> <p>00000h = 禁用传输</p> <p>00001h = 传输 1 个字节或字</p> <p>00002h = 必须传输 2 个字节或字</p> <p>⋮</p> <p>0FFFFh = 必须传输 65535 个字节或字</p>

6.3.7 DMAIV 寄存器

DMA 中断矢量寄存器

图 6-12 展示了 DMAIV，表 6-12 中对此进行了介绍。

返回表 6-5。

图 6-12. DMAIV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
DMAIVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DMAIVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r-0

表 6-12. DMAIV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	DMAIVx	R	0h	DMA 中断向量值。请参阅表 6-13。

表 6-13. DMA 中断向量值

DMAIV 内容	中断源	中断标志	中断优先级
00h	无中断等待	-	
02h	DMA 通道 0	DMA0IFG	最高
04h	DMA 通道 1	DMA1IFG	
06h	DMA 通道 2	DMA2IFG	
08h	保留	-	
0Ah	保留	-	
0Ch	保留	-	
0Eh	保留	-	最低



本章介绍了 MSP430x2xx 闪存控制器的操作。

7.1 闪存存储器介绍.....	318
7.2 闪存存储器分段.....	318
7.3 闪存存储器运行.....	320
7.4 闪存寄存器.....	332

7.1 闪存存储器介绍

MSP430 闪存存储器位、字节、和字可寻址并且可编程。闪存存储器模块有一个控制编程和擦除操作的集成型控制器。该控制器具有四个寄存器、一个时序发生器和一个用于提供编程和擦除电压的电压发生器。

MSP430 闪存存储器特性包括：

- 内部编程电压生成
- 可以进行位、字节或字编程
- 超低功耗运行
- 段擦除和批量擦除
- 边缘 0 和边缘 1 读取模式（可选，请参阅器件特定数据表）

图 7-1 所示为闪存和控制器的方框图。

备注

闪存写入或擦除期间的最小 V_{CC}

闪存写入或擦除操作期间的最小 V_{CC} 电压为 2.2V。如果在写入或擦除期间 V_{CC} 降至低于 2.2V，则写入或擦除的结果是不可预测的。

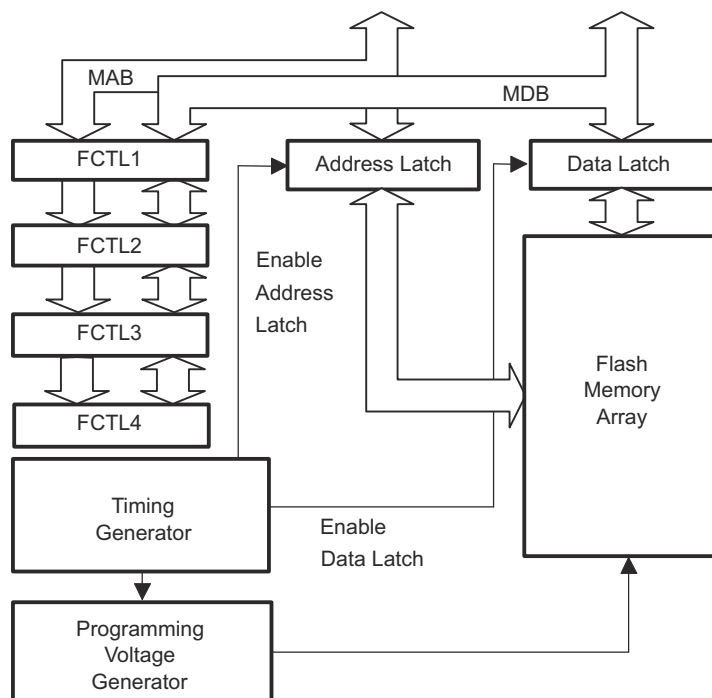


图 7-1. 闪存存储器模块方框图

7.2 闪存存储器分段

MSP430 闪存存储器被分为三个段。可以将单个位、字节或字写入闪存，但段是可以擦除的最小闪存大小。

闪存存储器被分为主和信息存储器部分。主和信息存储器部分的运行没有不同。代码或数据可以位于任一部分。两个部分之间的差异在于段大小和物理地址。

信息存储器有四个 64 字节段。主存储器具有一个或多个 512 字节段。主存储器段进一步划分为 64 字节的块。有关器件的完整存储器映射，请参阅器件特定数据表。

图 7-2 展示了使用 32KB 闪存示例进行的闪存分段，该闪存具有 64 个主段和 4 个信息段。

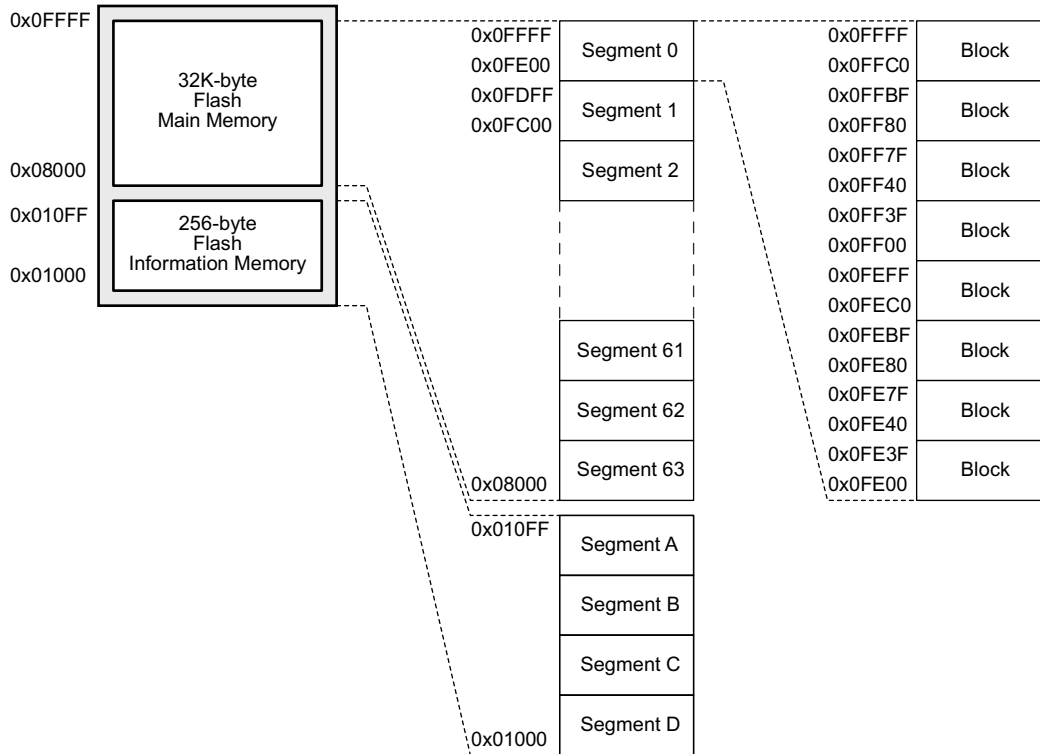


图 7-2. 闪存段，32KB 示例

7.2.1 段 A

用 LOCKA 位将信息内存的段 A 与所有其它段分开锁定。当 LOCKA = 1 时，无法对段 A 进行写入或擦除，并且在批量擦除或生产编程期间，所有信息存储器都受到保护，不会被擦除。当 LOCKA = 0 时，可以像任何其他闪存段一样对段 A 进行擦除和写入，并且在批量擦除或生产编程期间所有信息存储器都被擦除。

当一个 1 被写入 LOCKA 位时，它的状态被切换。将一个 0 写入 LOCKA 无效。这样可在无需更改的情况下，使用现有的闪存编程例程。

```

; Unlock SegmentA
  BIT   #LOCKA,&FCTL3           ; Test LOCKA
  JZ    SEGA_UNLOCKED          ; Already unlocked?
  MOV   #FWKEY+LOCKA,&FCTL3     ; No, unlock SegmentA
SEGA_UNLOCKED                    ; Yes, continue
; SegmentA is unlocked
; Lock SegmentA
  BIT   #LOCKA,&FCTL3           ; Test LOCKA
  JNZ   SEGA_LOCKED            ; Already locked?
  MOV   #FWKEY+LOCKA,&FCTL3     ; No, lock SegmentA
SEGA_LOCKED                       ; Yes, continue
; SegmentA is locked

```

7.3 闪存存储器运行

闪存存储器缺省模式为读取模式。在读取模式中，闪存存储器不被擦除或被写入，闪存时序发生器和电压生成器关闭，并且内存运行方式与 ROM 完全一样。

MSP430 闪存无需额外的外部电压即可在系统内编程 (ISP)。CPU 可编辑它自己的闪存存储器。可以使用 BLKWRT、WRT、MERAS 和 ERASE 位来选择闪存写入和擦除模式，这些模式为：

- 字节或字写入
- 块写入
- 段擦除
- 批量擦除 (所有主存储器段)
- 全部擦除 (所有段)

禁止在对闪存进行编程或擦除时其进行读取或写入。如果在写入或擦除期间需要执行 CPU，则要执行的代码必须处于 RAM 中。任何闪存更新都可以从闪存或 RAM 中启动。

7.3.1 闪存存储器时序发生器

写入和擦除操作由闪存时序发生器控制 (请参阅图 7-3)。闪存时序发生器的工作频率 f_{FTG} 必须处于约 257kHz 至约 476kHz 的范围内 (请参阅器件特定数据表)。

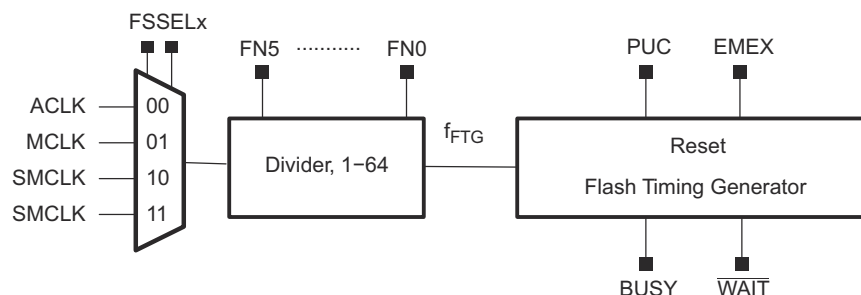


图 7-3. 闪存存储器时序发生器方框图

7.3.1.1 闪存时序发生器时钟选择

闪存时序发生器可由 ACLK，SMCLK，或 MCLK 供源。所选的时钟源必须使用 FNx 位进行分频，以满足 f_{FTG} 的频率要求。如果在写入或擦除操作期间 f_{FTG} 频率偏离规格，则写入或擦除的结果可能无法预测，或者闪存可能会经受超过可靠操作限制的压力。

如果在写入或擦除操作期间检测到时钟故障，则会中止操作，设置 FAIL 标志，操作的结果是不可预测的。

当写入或擦除操作处于活动状态时，无法通过将 MSP430 置于低功耗模式来禁用所选的时钟源。在被禁用之前，所选的时钟源一直保持活动状态，直到操作完成。

7.3.2 擦除闪存存储器

闪存位的擦除电平为 1。每个位都可以单独从 1 编程为 0，但是从 0 重新编程为 1 需要一个擦除周期。可以擦除的最小闪存量是一个段。使用 ERASE 和 MERAS 位可以选择三种擦除模式（请参阅表 7-1）。

表 7-1. 擦除模式

MERAS	ERASE	擦除模式
0	1	段擦除
1	0 Ω	批量擦除（所有主存储器段）
1	1	LOCKA = 0：擦除主闪存和信息闪存。 LOCKA = 1：仅擦除主闪存。

所有的擦除由一个到将被擦除的地址范围内的假写入启动。虚拟写入会启动闪存时序发生器和擦除操作。图 7-4 展示了擦除周期时序。BUSY 在假写入之后被立即置位并且在整个擦除周期内保持置位。当周期完成时，BUSY，MERAS 和 ERASE 被自动清除。擦除周期时序不依赖于器件上的闪存量。所有 MSP430F2xx 和 MSP430G2xx 器件的擦除周期时间都相同。

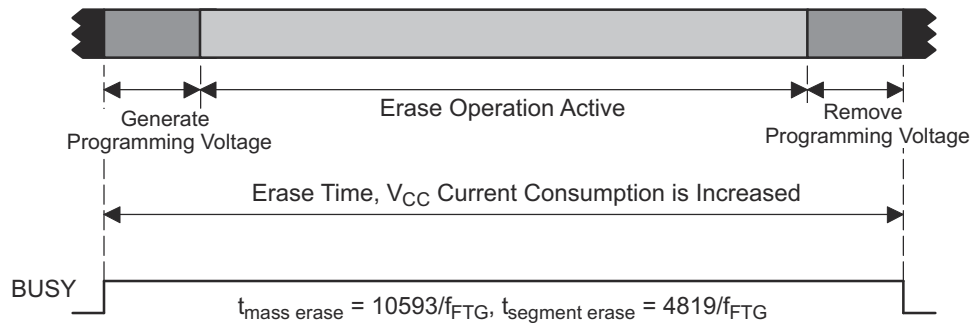


图 7-4. 擦除周期时序

对不在要擦除范围内的地址进行虚拟写入不会启动擦除周期，不会影响闪存，也不会以任何方式进行标记。该错误的虚拟写入会被忽略。

7.3.2.1 从闪存中启动擦除

可从闪存存储器或者 RAM 中启动一个擦除周期。当从闪存中启动闪存段擦除操作时，所有时序都由闪存控制器进行控制，并且在擦除周期完成时 CPU 处于保持状态。在擦除周期完成后，CPU 使用虚拟写入之后的指令来恢复代码执行。

在从闪存中启动擦除周期时，可以将擦除后执行所需的代码擦除。如果这样的话，擦除周期之后的 CPU 执行是无法预计的。

图 7-5 展示了从闪存启动擦除的流程。

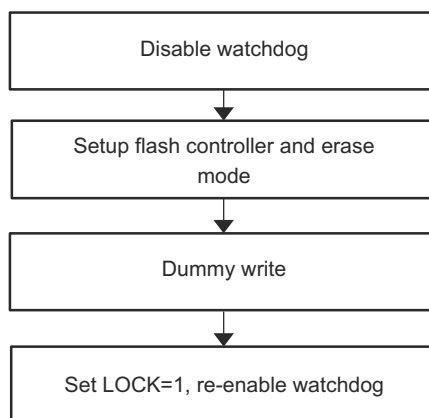


图 7-5. 从闪存中执行的擦除周期

```

; Segment Erase from flash.514 kHz < SMCLK < 952 kHz
; Assumes ACCVIE = NMIIE = OFIE = 0.
MOV     #WDTPW+WDTHOLD,&WDCTL      ; Disable WDT
MOV     #FWKEY+FSSEL1+FN0,&FCTL2    ; SMCLK/2
MOV     #FWKEY, &FCTL3             ; Clear LOCK
MOV     #FWKEY+ERASE, &FCTL1       ; Enable segment erase
CLR     &0FC10h                    ; Dummy write, erase S1
MOV     #FWKEY+LOCK, &FCTL3        ; Done, set LOCK
...                                         ; Re-enable WDT?
    
```

7.3.2.2 从 RAM 中启动擦除

任何擦除周期都可从 RAM 发起。在这种情况下，CPU 不会被占用，可以继续执行 RAM 中的代码。必须首先轮询 BUSY 位以确定擦除周期已结束，然后 CPU 才能再次访问任何闪存地址。如果在 BUSY = 1 时发生闪存访问，则发生访问违例，会设置 ACCVIFG，擦除结果是不可预测的。

图 7-6 展示了从 RAM 启动擦除的流程。

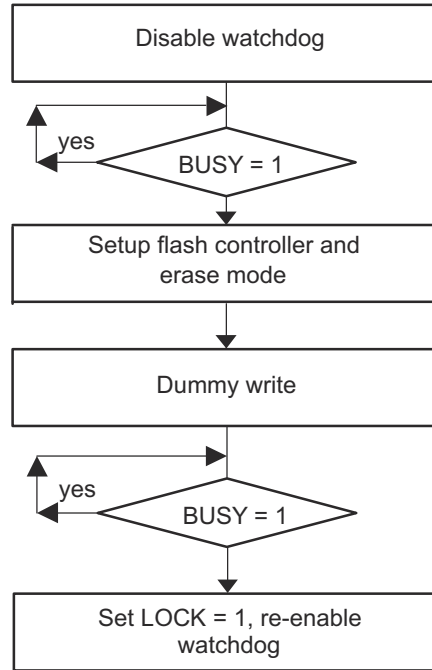


图 7-6. 来自 RAM 内的擦除周期

```

; Segment Erase from RAM.514 kHz < SMCLK < 952 kHz
; Assumes ACCVIE = NMIIIE = OFIE = 0.
MOV #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL ; Disable WDT
L1 BIT #BUSY, &FCTL3 ; Test BUSY
JNZ L1 ; Loop while busy
MOV #FWKEY+FSSEL1+FN0, &FCTL2 ; SMCLK/2
MOV #FWKEY&FCTL3 ; Clear LOCK
MOV #FWKEY+ERASE, &FCTL1 ; Enable erase
CLR &0FC10h ; Dummy write, erase S1
L2 BIT #BUSY, &FCTL3 ; Test BUSY
JNZ L2 ; Loop while busy
MOV #FWKEY+LOCK&FCTL3 ; Done, set LOCK
... ; Re-enable WDT?
    
```

7.3.3 写入闪存存储器

表 7-2 列出了由 WRT 和 BLKWRT 位选择的写入模式。

表 7-2. 写入模式

BLKWRT	WRT	写入模式
0	1	字节或字写入
1	1	块写入

两种写入模式都使用一系列单独的写入指令，但使用块写入模式的速度大约是字节或字模式的两倍，因为电压发生器在完成块写入时保持开启。任何修改目标的指令都可用于在字节或字写入模式或块写入模式下修改闪存位置。在两次擦除之间，闪存字（低字节和高字节）的写入次数不得超过两次。否则，会发生器件损坏。

在写操作处于活动状态时会设置 BUSY 位，在操作完成时会清除该位。如果从 RAM 启动写入操作，则在 BUSY = 1 时 CPU 不得访问闪存。否则，会出现一个访问冲突，ACCVIFG 被置位，并且闪存写入不可预计。

7.3.3.1 字节或字写入

可从闪存存储器或者 RAM 内发起一个字节或字写入操作。当从闪存中启动时，所有时序都由闪存控制器进行控制，并且在写入完成时 CPU 处于保持状态。在写入完成后，CPU 使用写入之后的指令来恢复代码执行。图 7-7 展示了字节或字写入时序。

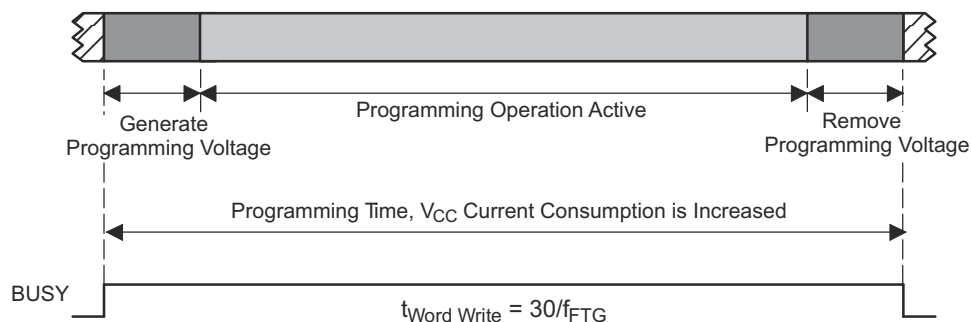


图 7-7. 字节或字写入时序

当一个字节或字写入从 RAM 中执行时，CPU 继续执行来自 RAM 的代码。在 CPU 再次访问闪存前，BUSY 位必须为零，否则一个访问冲突会出现，ACCVIFG 被置位，并且写入结果不可预计。

在字节或字模式下，每次写入一个字节或字时，内部生成的编程电压将应用于完整的 64 字节块，持续时间为 30 个 f_{FTG} 周期中的 27 个。对于每一次的字节或字写入，块承受编程电压的时间量会累积。累积编程时间， t_{CPT} ，一定不能超过任何块的编程时间。如果满足累积编程时间，那么在对块内的任何地址执行任何进一步写入之前必须擦除块。具体规范请参见具体器件的数据表。

7.3.3.2 从闪存中启动字节或字写入

图 7-8 展示了从闪存启动字节或字写入的流程。

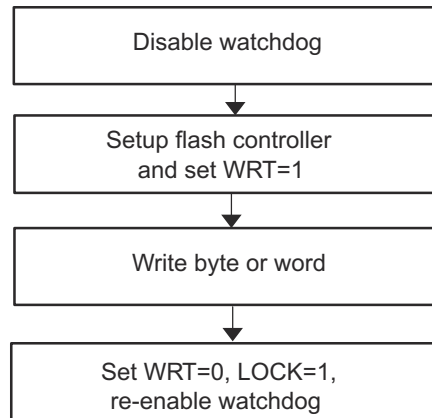


图 7-8. 从闪存发起一个字节或字写入

```

; Byte/word write from flash.514 kHz < SMCLK < 952 kHz
; Assumes 0FF1Eh is already erased
; Assumes ACCVIE = NMIIE = OFIE = 0.
MOV    #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL    ; Disable WDT
MOV    #FWKEY+FSSEL1+FN0,&FCTL2    ; SMCLK/2
MOV    #FWKEY,&FCTL3              ; Clear LOCK
MOV    #FWKEY+WRT,&FCTL1          ; Enable write
MOV    #0123h,&0FF1Eh            ; 0123h -> 0FF1Eh
MOV    #FWKEY,&FCTL1              ; Done.Clear WRT
MOV    #FWKEY+LOCK,&FCTL3        ; Set LOCK
...
; Re-enable WDT?
    
```

7.3.3.3 从 RAM 启动字节或字写入

图 7-9 展示了从 RAM 启动字节或字写入的流程。

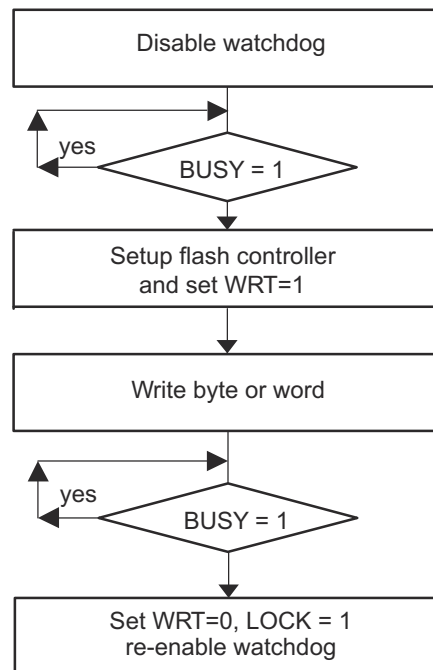


图 7-9. 从 RAM 启动字节或字写入

```

; Byte/word write from RAM.514 kHz < SMCLK < 952 kHz
; Assumes 0FF1Eh is already erased
; Assumes ACCVIE = NMIIE = OFIE = 0.
L1  MOV  #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL      ; Disable WDT
    BIT  #BUSY,&FCTL3                ; Test BUSY
    JNZ  L1                          ; Loop while busy
    MOV  #FWKEY+FSSEL1+FN0,&FCTL2    ; SMCLK/2
    MOV  #FWKEY,&FCTL3                ; Clear LOCK
    MOV  #FWKEY+WRT,&FCTL1           ; Enable write
    MOV  #0123h,&0FF1Eh              ; 0123h -> 0FF1Eh
L2  BIT  #BUSY,&FCTL3                ; Test BUSY
    JNZ  L2                          ; Loop while busy
    MOV  #FWKEY,&FCTL1               ; Clear WRT
    MOV  #FWKEY+LOCK,&FCTL3          ; Set LOCK
    ...                               ; Re-enable WDT?
    
```

7.3.3.4 块写入

当需要编辑很多连续的字节或者字时，块写入可被用于加速闪存写入进程。在写入 64 字节块期间，闪存编程电压保持开启。在块写入期间，对于任何块，不得超过累积编程时间 t_{CPT} 。

不能从闪存存储器内发起一个块写入。只能从 RAM 启动块写入。在块写入的整个持续时间内，BUSY 位保持置位。必须在块中每个字节或字的写入之间检查 WAIT 位。设置 WAIT 后，可以写入块的下一个字节或字。在写入连续块时，必须在当前块完成后清除 BLKWRT 位。可以设置 BLKWRT，从而在所需的闪存恢复时间（由 t_{end} 给出）之后启动下一个块写入。BUSY 在每个块写入完成后清除，表示可以写入下一个块。图 7-10 显示了块写入时序。

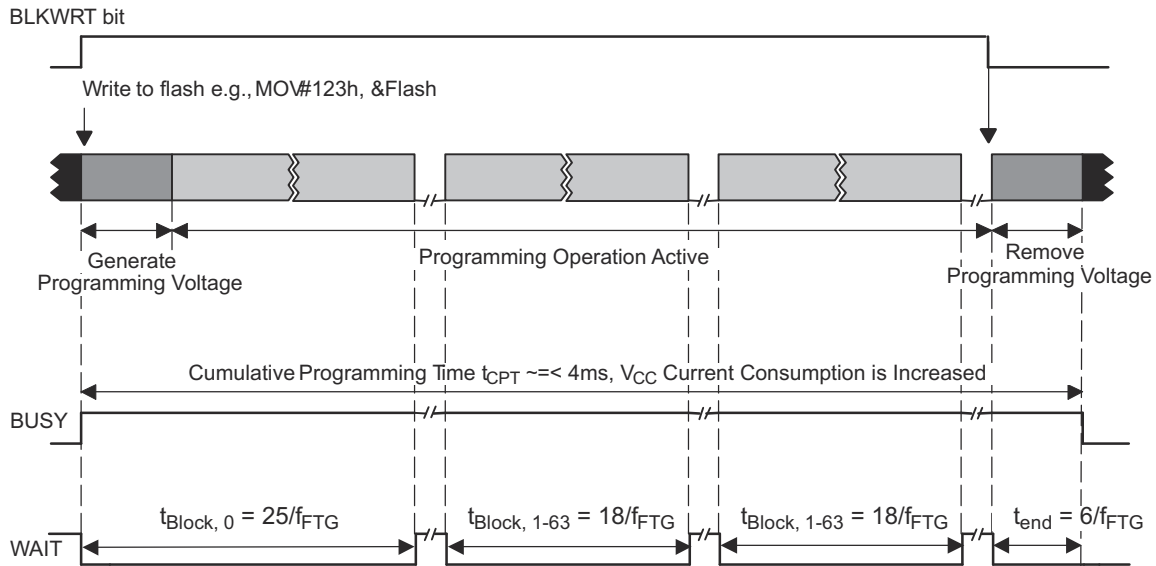


图 7-10. 块写入周期时序

7.3.3.5 块写入流程和示例

图 7-11 和以下示例展示了块写入流程。

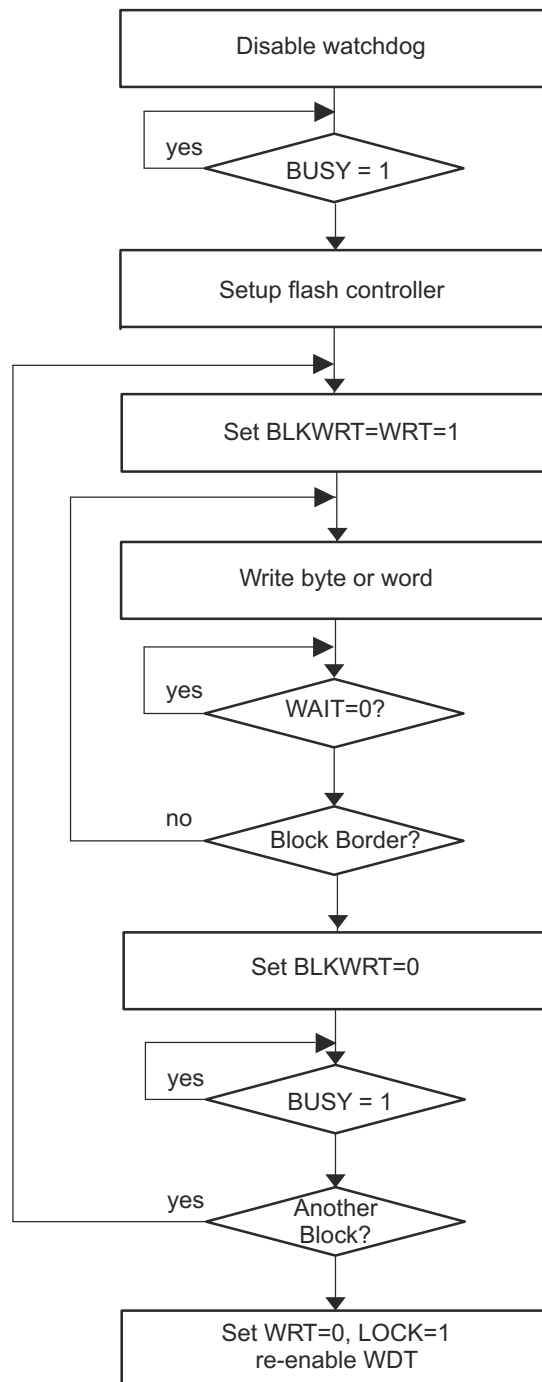


图 7-11. 块写入流程


```

; Write one block starting at 0F000h.
; Must be executed from RAM, Assumes Flash is already erased.
; 514 kHz < SMCLK < 952 kHz
; Assumes ACCVIE = NMIE = OFIE = 0.
MOV    #32,R5                ; Use as write counter
MOV    #0F000h,R6           ; Write pointer
MOV    #WDTPW+WDTHOLD,&WDTCTL ; Disable WDT
L1     BIT    #BUSY,&FCTL3    ; Test BUSY
      JNZ    L1              ; Loop while busy
      MOV    #FWKEY+FSSEL1+FN0,&FCTL2 ; SMCLK/2
      MOV    #FWKEY,&FCTL3    ; Clear LOCK
      MOV    #FWKEY+BLKWRT+WRT,&FCTL1 ; Enable block write
L2     MOV    Write_Value,0(R6) ; Write location
L3     BIT    #WAIT,&FCTL3    ; Test WAIT
      JZ     L3              ; Loop while WAIT = 0
      INCD  R6               ; Point to next word
      DEC   R5               ; Decrement write counter
      JNZ  L2                ; End of block?
      MOV    #FWKEY,&FCTL1    ; Clear WRT,BLKWRT
L4     BIT    #BUSY,&FCTL3    ; Test BUSY
      JNZ    L4              ; Loop while busy
      MOV    #FWKEY+LOCK,&FCTL3 ; Set LOCK
      ...
      ; Re-enable WDT if needed

```

7.3.4 写入或擦除期间的闪存存储器访问

当从 RAM 启动任何写入或任何擦除操作并且 **BUSY = 1** 时，CPU 可能不会对任何闪存位置进行读取或写入。否则，会导致访问违例，**ACCVIFG** 被置位，并且结果不可预计。此外，如果在 **WRT = 0** 的情况下尝试对闪存进行写入，则会设置 **ACCVIFG** 中断标志，闪存不受影响。

当从闪存中启动字节或字写入或任何擦除操作时，闪存控制器会在下次指令提取时将操作码 **03FFFh** 返回至 CPU。操作码 **03FFFh** 是 **JMP PC** 指令。这使得 CPU 循环执行，直到闪存操作被完成。当操作完成且 **BUSY = 0** 时，闪存控制器允许 CPU 提取适当的操作码并且恢复程序执行。

表 7-3 列出了 **BUSY = 1** 时的闪存访问条件。

表 7-3. **BUSY = 1** 时的闪存访问

闪存操作	闪存存取	WAIT	结果
任何擦除或者 字节或字写入	读取	0	ACCVIFG = 0。03FFFh 是被读取的值。
	写入	0	ACCVIFG = 1。写入被忽略。
	取指令	0	ACCVIFG = 0。CPU 取 03FFFh。这条是 JMP PC 指令。
块写入	任一	0	ACCVIFG=1, LOCK=1
	读取	1	ACCVIFG = 0。03FFFh 是被读取的值。
	写入	1	ACCVIFG = 0。被写入。
	取指令	1	ACCVIFG=1, LOCK=1

在 **EEI = 0** 和 **EEIEX = 0** 时以及在不存在 **EEI** 和 **EEIEX** 的 **MSP430x20xx** 和 **MSP430G2xx** 器件上，在任何闪存操作期间都会自动禁用中断。闪存操作完成后，会自动重新启用中断。操作期间发生的任何中断都会设置其相关标志，并在重新启用时生成中断请求。

当 **EEIEX = 1** 和 **GIE = 1** 时，中断会立即中止任何闪存操作并设置 **FAIL** 标志。当 **EEI = 1**、**GIE = 1** 并且 **EEIEX = 0** 时，每经过 **32** 个 **f_{FTG}** 个周期，一个挂起的中断就会中断一个段擦除。为中断提供服务后，段擦除将持续至少 **32** 个 **f_{FTG}** 周期或直到其完成。在中断服务期间，**BUSY** 位保持置位，但 CPU 可以访问闪存而不会发生访问冲突。不支持嵌套中断，也不支持在中断服务例程中使用 **RETI** 指令。

必须在闪存擦除周期之前禁用看门狗计时器（在看门狗模式下）。复位会中止擦除，结果是不可预测的。擦除周期完成后，可以再次启用看门狗。

7.3.5 停止一个写入或擦除周期

在写入或擦除操作正常完成前，通过设置紧急退出位 **EMEX**，此操作可被停止。设置 **EMEX** 位会立即停止活动操作并停止闪存控制器。所有闪存操作停止，闪存返回到读取模式，并且所有 **FCTL1** 寄存器内的位被复位。目的操作的结果无法预计。

7.3.6 边界读取模式

边缘读取模式可用于验证闪存内容的完整性。选定的 **2xx** 器件中实现了该功能（有关可用性，请参阅器件特定数据表）。在边界读取模式，边界编辑的闪存存储器位位置可被检测到。可能产生该情况的事件包括不正确的 **f_{FTG}** 设置，或者在擦除或编程操作期间违反最小 **V_{CC}**。识别此类存储器位置的一种方法是定期对闪存的一部分（例如闪存段）执行校验和计算，并在启用边缘读取模式的情况下重复该过程。如果它们不匹配，这将表明一个不充分已编辑闪存存储器位置。可以刷新受影响的闪存段，方法是禁用边缘读取模式，复制到 **RAM**，擦除闪存段，然后再从 **RAM** 写回到闪存段。

必须从 **RAM** 执行检查闪存内容的程序。从闪存执行代码将自动禁用读取模式。边界读取模式由 **MRG0** 和 **MRG1** 寄存器位控制。设置 **MRG1** 用于检测包含 **1** 的未充分编程的闪存单元（已擦除的位）。设置 **MRG0** 用于检测包含 **0** 的未充分编程的闪存单元（已编程的位）。一次只能设置这些位中的一个。因此，完整的边缘读取检查需要执行两遍闪存内容完整性检查。边界读取模式期间，闪存访问速度 (**MCLK**) 必须被限制在 **1MHz**（请参阅器件专用数据表）。

7.3.7 配置和访问闪存存储器控制器

FCTLx 寄存器是受密码保护的 **16** 位读取/写入寄存器。任何读取或写入访问都必须使用字指令，并且写入访问必须在高位字节中包含写入密码 **0A5h**。向任何 **FCTLx** 寄存器的高位字节中写入除 **0A5h** 以外的任何值都属于安全密钥违例，这会设置 **KEYV** 标志并触发 **PUC** 系统复位。到任何 **FCTLx** 寄存器的读取将读取上部字节内的 **096h** 值。

在擦除期间或者字节或字写入操作期间对 **FCTL1** 的任何写入都属于访问违例，并且会设置 **ACCVIFG**。当 **WAIT = 1** 时，允许在块写入模式下对 **FCTL1** 进行写入，但在 **WAIT = 0** 时在块写入模式下对 **FCTL1** 进行写入属于访问违例并且会设置 **ACCVIFG**。

当 **BUSY=1** 时，任何到 **FCTL1** 的写入都属于访问违例。

当 **BUSY = 1** 时，可读取任何 **FCTLx** 寄存器。读取不会导致访问违例。

7.3.8 闪存存储器控制器中断

闪存控制器有两个中断源，**KEYV** 和 **ACCVIFG**。当一个访问违法发生时，**ACCVIFG** 被置位。当在闪存写入或擦除后重新启用 **ACCVIE** 位时，设置的 **ACCVIFG** 标志会生成中断请求。**ACCVIFG** 为 **NMI** 中断矢量供源，所以对于 **ACCVIFG** 中断请求没必要置位 **GIE**。也可通过软件来检查 **ACCVIFG** 以确定是否发生了访问违例。**ACCVIFG** 必须由软件复位。

当使用不正确的密码对任何闪存控制寄存器进行写入时，会设置密钥违例标志 **KEYV**。在发生该情况时，会生成一个 **PUC** 以立即复位器件。

7.3.9 编辑闪存存储器器件

有三个选项可用来编辑 MSP430 闪存器件所有选项都支持系统内编程：

- 使用 JTAG 进行编程
- 使用引导加载程序进行编程
- 使用自定义解决方案进行编程

7.3.9.1 使用 JTAG 对闪存进行编程

可以通过 JTAG 端口对 MSP430 器件进行编程。JTAG 接口需要四个信号 (20 和 28 引脚器件上需要五个信号) 、接地端以及可选的 V_{CC} 和 RST/NMI 。

JTAG 端口由一个熔丝保护。完全熔断熔丝将禁用 JTAG 端口并且不可恢复。无法通过 JTAG 进一步访问器件。有关详细信息，请参阅[通过 JTAG 接口对 MSP430 进行编程 \(SLAU320\)](#)。

7.3.9.2 使用引导加载程序 (BSL) 对闪存进行编程

大多数 MSP430 闪存器件都包含引导加载程序。有关实现的详细信息，请参阅特定器件数据表。BSL 使用户能够采用一个 UART 串行接口来读取或编辑闪存存储器或 RAM。通过 BSL 访问 MSP430 闪存时受到 256 位用户定义密码的保护。更多详细信息，请参阅[使用引导加载程序 \(BSL\) 进行 MSP430 编程 \(SLAU319\)](#)。

7.3.9.3 使用定制解决方案对闪存进行编程

利用 MSP430 CPU 可对自身闪存进行写入的功能，能够使用系统和外部定制编程解决方案 (请参阅图 7-12) 。用户可以选择通过任何可用的方式 (例如 UART 或 SPI) 向 MSP430 提供数据。用户开发的软件能够接收数据并且编辑闪存存储器。由于这个解决方案类型由用户开发，它可被完全定制以符合针对编程、擦除或更新闪存存储器的应用需要。

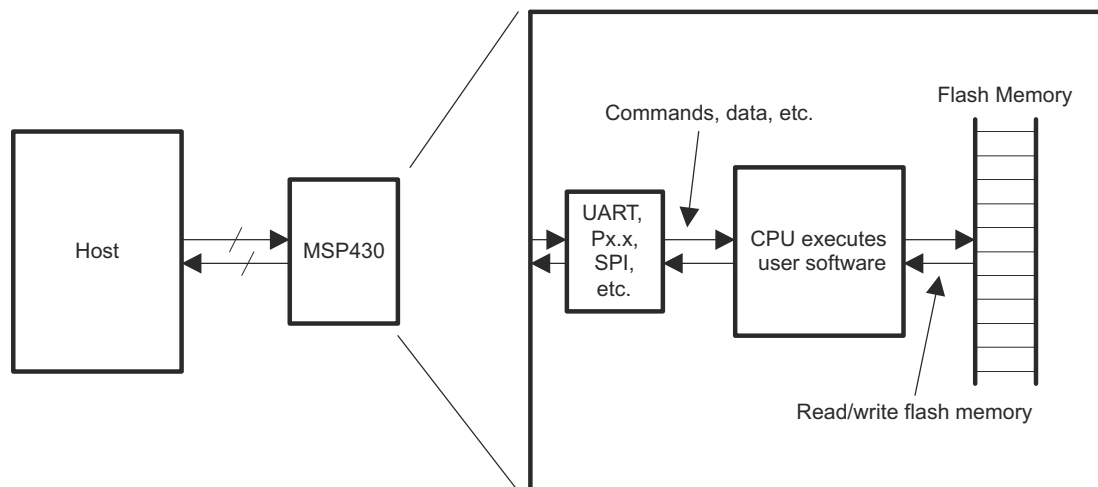


图 7-12. 用户开发的编程解决方案

7.4 闪存寄存器

表 7-4 列出了闪存控制器的存储器映射寄存器。

表 7-4. 闪存存储器寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
128h	FCTL1	闪存控制 1	读取/写入	PUC 后为 9600h	节 7.4.2
12Ah	FCTL2	闪存控制 2	读取/写入	PUC 后为 9642h	节 7.4.3
12Ch	FCTL3	闪存控制 3	读取/写入	PUC 后为 9658h ⁽¹⁾	节 7.4.4
1BEh	FCTL4 ⁽²⁾	闪存控制 4	读取/写入	PUC 后为 00h	节 7.4.5
0h	IE1	中断使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 7.4.6

(1) POR 后 KEYV 被初始化。PUC 后所有其他位被初始化。

(2) 并不出现在所有器件上。请参阅特定器件的数据手册。

7.4.1 FCTL1 寄存器

闪存存储器控制 1 寄存器

图 7-13 展示了 FCTL1，表 7-5 中对此进行了介绍。

返回表 7-4。

图 7-13. FCTL1 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
FRKEY FWKEY							
rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
BLKWRT	WRT	保留	EEIEX ⁽¹⁾	EEI ⁽¹⁾	MERAS	ERASE	保留
rw - 0	rw - 0	r0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r0

(1) 在 MSP430x20xx 和 MSP430G2xx 器件中不存在。

表 7-5. FCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	FRKEY FWKEY	R/W	96h	FCTLx 密码。一直读取为 096h。必须写入 0A5h。写入任何其他值都会产生 PUC。
7	BLKWRT	R/W	0h	块写入模式。对于块写入模式，WRT 必须被设定。设置 EMEX 后，BLKWRT 会自动复位。 0b = 块写入模式关闭 1b = 块写入模式开启
6	WRT	R/W	0h	写入。这个位被用于选择任一写入模式。设置 EMEX 后，WRT 会自动复位。 0b = 写入模式关闭 1b = 写入模式开启
5	保留	R	0h	
4	EEIEX	R/W	0h	启用紧急中断退出。当 GIE = 1 时，设置该位使中断能够引发从闪存操作紧急退出。设置 EMEX 后，EEIEX 会自动复位。 在 MSP430x20xx 和 MSP430G2xx 器件中不存在。 0b = 禁用中断时退出。 1b = 启用中断时退出。
3	EEI	R/W	0h	启用擦除中断。如果设置该位，则允许中断请求中断段擦除。中断被处理后，擦除周期重新开始。 在 MSP430x20xx 和 MSP430G2xx 器件中不存在。 0b = 禁用段擦除期间的中断。 1b = 启用段擦除期间的中断。
2	MERAS	R/W	0h	批量擦除和擦除。这些位被一起用来选择擦除模式。设置 EMEX 后，
1	ERASE	R/W	0h	MERAS 和 ERASE 会自动复位。请参阅表 7-6。
0	保留	R	0h	

表 7-6. 擦除周期

MERAS	ERASE	擦除周期
0	0	无擦除
0	1	只擦除单独的段
1	0 Ω	擦除所有主存储器段

表 7-6. 擦除周期 (continued)

MERAS	ERASE	擦除周期
1	1	LOCKA = 0 : 擦除主闪存和信息闪存。 LOCKA = 1 : 仅擦除主闪存。

7.4.2 FCTL2 寄存器

闪存存储器控制 2 寄存器

图 7-14 展示了 FCTL2，表 7-7 中对此进行了介绍。

返回表 7-4。

图 7-14. FCTL2 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
FWKEYx							
rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
FSSELx		FNx					
rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0

表 7-7. FCTL2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	FWKEYx	R/W	96h	FCTLx 密码。一直读取为 096h。必须写入 0A5h。写入任何其他值都会产生 PUC。
7-6	FSSELx	R/W	1h	闪存控制器时钟源选择 00b = ACLK 01b = MCLK 10b = SMCLK 11b = SMCLK
5-0	FNx	R/W	2h	闪存控制器时钟分频器。这六个位选择闪存控制器时钟的分频器。除数值为 FNx + 1。例如，当 FNx = 00h 时，除数为 1。当 FNx = 03Fh 时，除数为 64。

7.4.3 FCTL3 寄存器

闪存存储器控制 3 寄存器

图 7-15 展示了 FCTL3，表 7-8 中对此进行了介绍。

返回表 7-4。

图 7-15. FCTL3 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
FWKEYx							
rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
FAIL	LOCKA	EMEX	LOCK	等待	ACCVIFG	KEYV	忙
r(w)-0	r(w)-1	rw - 0	rw - 1	r-1	rw - 0	rw - (0)	r-0

表 7-8. FCTL3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	FWKEYx	R/W	96h	FCTLx 密码。一直读取为 096h。必须写入 0A5h。写入任何其他值都会产生 PUC。
7	FAIL	R/W	0h	运行故障。如果 f _{FTG} 时钟源发生故障，或者 EEIEX = 1 时闪存操作因中断而中止，则会设置该位。必须用软件复位 FAIL。 0b = 无故障 1b = 故障
6	LOCKA	R/W	1h	段 A 和信息锁定。写入一个 1 到这个位来改变其状态。写入 0 无效。 0b = 在批量擦除过程中，段 A 解锁并且所有信息存储器都被擦除。 1b = 在批量擦除过程中，段 A 锁定并且所有信息存储器都受到保护，不会被擦除。
5	EMEX	R/W	0h	紧急退出 0b = 无紧急退出 1b = 紧急退出
4	LOCK	R/W	1h	锁定。这个位解锁闪存存储器使其能够被写入或擦除。在字节或字写入或擦除操作期间，可在任一时间置位 LOCK 位，并且运行正常完成。在块写入模式下，如果在 BLKWRT = WAIT = 1 时设置了 LOCK 位，则 BLKWRT 和 WAIT 会复位，该模式正常结束。 0b = 未被锁定 1b = 被锁定
3	WAIT	R	1h	等待。表明闪存存储器正在被写入。 0b = 闪存没有为下一次字节或字写入做好准备 1b = 闪存已经为下一次字节或字写入做好准备
2	ACCVIFG	R/W	0h	访问违反中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	KEYV	R/W	0h	闪存安全密码违反。当置位时，这个位表明一个不正确的 FCTLx 密码被写入任一闪存控制寄存器并且生成一个 PUC。必须用软件来复位 KEYV。KEYV 由 POR 复位。 0b = 已正确写入 FCTLx 密码 1b = 错误地写入了 FCTLx 密码

表 7-8. FCTL3 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
0	忙	R	0h	忙。这个位表明闪存时序发生器的状态。 0b = 不忙 1b = 忙

7.4.4 FCTL4 寄存器

闪存控制 4 寄存器。并不是所有器件都提供这个寄存器。相关详细信息，请参阅器件特定数据表。

图 7-16 展示了 FCTL4，表 7-9 中对此进行了介绍。

返回表 7-4。

图 7-16. FCTL4 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
FWKEYx							
rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0
保留		MRG1	MRG0	保留			
r-0	r-0	rw - 0	rw - 0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 7-9. FCTL4 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	FWKEYx	R/W	96h	FCTLx 密码。一直读取为 096h。必须写入 0A5h。写入任何其他值都会产生 PUC。
7-6	保留	R	0h	保留。始终读为 0。
5	MRG1	R/W	0h	边界读取 1 模式。这个位启用边界 1 读取模式。如果 CPU 从闪存开始执行，则会清除边缘读取 1 位。如果 MRG1 和 MRG0 都被置位，MRG1 被激活，而 MRG0 被忽略。 0b = 边界 1 读取模式被禁用。 1b = 边界 1 读取模式被启用。
4	MRG0	R/W	0h	边界读取 0 模式这个位启用边界 0 读取模式。如果 CPU 从闪存开始执行，则会清除边缘模式 0。如果 MRG1 和 MRG0 都被置位，MRG1 被激活，而 MRG0 被忽略。 0b = 边界 0 读取模式被禁用。 1b = 边界 0 读取模式被启用。
3-0	保留	R	0h	保留。始终读为 0。

7.4.5 IE1 寄存器

中断使能 1 寄存器

图 7-17 展示了 IE1，表 7-10 中对此进行了介绍。

返回表 7-4。

PUC 后复位。

图 7-17. IE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
		ACCVIE					
rw-0							

表 7-10. IE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6				其他模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。
5	ACCVIE	R/W	0h	闪存存储器非法访问中断启用.这个位使能 ACCVIFG 中断。 IE1 中的其他位可用于其他模块，因此 TI 建议使用 BIS.B (而非 MOV.B 指令) 设置该位，或使用 BIC.B 指令 (而非 CLR.B 指令) 清除该位。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被启用
4-0				其他模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。



本章对数字 I/O 端口的运行进行了说明。

8.1 数字 I/O 介绍.....	340
8.2 数字 I/O 运行.....	340
8.3 输入 I/O 寄存器.....	345

8.1 数字 I/O 介绍

MSP430 执行多达 8 个数字 I/O 端口，P1 至 P8。每个端口具有多达八个 I/O 引脚。每个 I/O 引脚可针对输入或输出方向单独配置，并且可对每个 I/O 引脚单独进行读取或写入。

端口 P1 和 P2 有中断功能。P1 和 P2 I/O 线路的每个中断都可以单独启用并配置为在输入信号的上升沿或下降沿提供中断。所有 P1 I/O 线路都会获得一个中断向量，所有 P2 I/O 线路都会获得一个不同的中断向量。

数字 I/O 特性包括：

- 单独可编程独立 I/O
- 输入或输出的任意组合
- 单独可配置的 P1 和 P2 中断
- 独立输入和输出数据寄存器
- 单独可配置的上拉或者下拉电阻器
- 单独可配置的引脚振荡器功能 (某些 MSP430 器件)

备注

MSP430G22x0：这些器件具有数字 I/O 引脚 P1.2、P1.5、P1.6 和 P1.7。该器件上实现了 GPIO P1.0、P1.1、P1.3、P1.4、P2.6 和 P2.7，但它们在器件引脚排列上不可用。为了避免这些 GPIO 上出现悬空输入，应通过运行与以下示例类似的启动代码来正确初始化这些数字 I/O：

```
mov.b #0x1B, P1REN;    ; Terminate unavailable Port1 pins properly
                        ; Config as Input with pulldown enabled
xor.b #0x20, BCCTL3;  ; Select VLO as low freq clock
```

初始化代码将 GPIO P1.0、P1.1、P1.3 和 P1.4 配置为启用下拉电阻器 (即 P1REN.x = 1) 的输入，并且通过选择 VLOCLK 作为 ACLK 来端接 GPIO P2.6 和 P2.7，有关详细信息，请参阅“基本时钟系统”一章。初始化代码执行后，寄存器 P1OUT、P1DIR、P1IFG、P1IE、P1IES、P1SEL 和 P1REN 中的 P1.0、P1.1、P1.3 和 P1.4 寄存器位不得更改。此外，所有端口 2 寄存器都不得更改。

8.2 数字 I/O 运行

使用用户软件来配置数字 I/O。以下各节介绍了数字 I/O 的设置和操作。

8.2.1 输入寄存器 PxIN

当引脚被配置为 I/O 功能时，每个 PxIN 寄存器中的每个位反映相应 I/O 引脚上输入信号的值。

位 = 0：输入为低电平

位 = 1：输入为高电平

备注

对只读寄存器 PxIN 进行写入

写入这些只读寄存器将在写入尝试被激活时增加流耗。

8.2.2 输出寄存器 PxOUT

每个 PxOUT 寄存器中的每个位都是当引脚配置为 I/O 功能、输出方向和上拉/下拉电阻器禁用时要在相应 I/O 引脚上输出的值。

位 = 0：输出为低电平

位 = 1：输出为高电平

如果启用了引脚的上拉或下拉电阻器，则 PxOUT 寄存器中的相应位选择上拉或下拉 (请参阅节 8.2.4)。

位 = 0：引脚被下拉

位 = 1：引脚被上拉

8.2.3 方向寄存器 PxDIR

每个 PxDIR 寄存器中的每个位选择相应 I/O 引脚的方向，这与为引脚选择的功能无关。被选择用于其他功能的 I/O 引脚的 PxDIR 位必须按照其他功能的要求进行设定。

位 = 0：端口引脚切换至输入方向

位 = 1：端口引脚切换至输出方向

8.2.4 上拉或下拉电阻器使能寄存器 PxREN

每个 PxREN 寄存器中的每个位用于使能或禁用相应 I/O 引脚的上拉或下拉电阻。PxOUT 寄存器中的相应位选择是对引脚进行上拉还是下拉（请参阅节 8.2.2）。

位 = 0：禁用上拉或下拉电阻器

位 = 1：启用上拉或下拉电阻器

8.2.5 功能选择寄存器 PxSEL 和 PxSEL2

端口引脚通常与其他外设模块功能复用。请参见具体器件的数据表来确定引脚功能。每个 PxSEL 和 PxSEL2 位都用于选择引脚功能 - I/O 端口或外设模块功能。

表 8-1. PxSEL 和 PxSEL2

PxSEL2	PxSEL	引脚功能
0	0	I/O 功能被选择。
0	1	选择主外设模块功能。
1	0Ω	保留。请参阅特定器件的数据手册。
1	1	选择辅助外设模块功能。

设置 PxSELx=1 不能自动设定引脚方向。其他外设模块功能也许要求 PxDIR 位被按照模块功能所需的方向进行配置。请参阅具体器件数据表中的引脚电路原理图。

备注

当 PxSEL = 1 时设置 PxREN = 1

在 MSP430F261x 和 MSP430F2416/7/8/9 上的某些 I/O 端口上，在选择模块功能 (PxSEL = 1) 时启用上拉/下拉电阻器 (PxREN = 1) 不会禁用逻辑输出驱动器。不建议采用该组合，因为该组合可能会导致不需要的电流流过内部电阻器。如需更多信息，请参阅器件特定数据表引脚原理图。

```

;Output ACLK on P2.0 on MSP430F21x1
BIS.B #01h,&P2SEL ; Select ACLK function for pin
BIS.B #01h,&P2DIR ; Set direction to output *Required*

```

备注

当 PxSEL = 1 时禁用 P1 和 P2 中断

设置任何 P1SELx 或 P2SELx 位后，会禁用相应引脚的中断功能。因此，无论相应的 P1IE 或 P2IE 位状态如何，这些引脚上的信号都不会产生 P1 或 P2 中断。

当一个端口引脚被选为一个到外设的输入时，到外设的输入信号表示器件引脚上信号被锁存。当 PxSELx = 1 时，内部输入信号在引脚上的信号之后。不过，如果 PxSELx = 0，则外设的输入会保持在 PxSELx 位复位之前器件引脚上的输入信号值。

8.2.6 引脚振荡器

某些 MSP430 器件有一个内置于某些信号内的引脚振荡器功能。引脚振荡器功能可用于电容式触控传感应用，无需再使用外部无源器件。此外，引脚振荡器可被用在传感器应用中。

无需使用外部组件生成振荡

电容式传感器可被直接连接至 MSP430 引脚

大约为 0.7V 的稳健，典型内置滞后

当启用引脚振荡器功能时，其他引脚配置被覆盖。输出驱动器关闭，而弱上拉/下拉启用并由引脚本身的电压电平控制。I/O 上的电压被馈入引脚的施密特触发器，然后路由到一个计时器。与计时器的连接是特定于器件的，因此在器件特定数据表中进行了定义。施密特触发器输出被反相，然后决定是启用上拉还是下拉。由于反相，一旦选择了引脚振荡器引脚配置，引脚就开始振荡。在路由到计时器时钟输入或计时器捕捉通道之前，一些引脚振荡器输出通过逻辑或运算进行组合。因此，一次只能启用一个引脚振荡器。每个引脚的振荡频率由引脚上的负载和 I/O 类型定义。具有模拟功能的 I/O 通常显示比纯数字 I/O 更低的振荡频率。相关详细信息，请参阅器件特定数据表。无外部负载的引脚显示 1MHz 至 3MHz 的典型振荡频率。

电容式触控应用中的引脚振荡器

图 8-1 展示了使用引脚振荡器的典型触摸板应用。

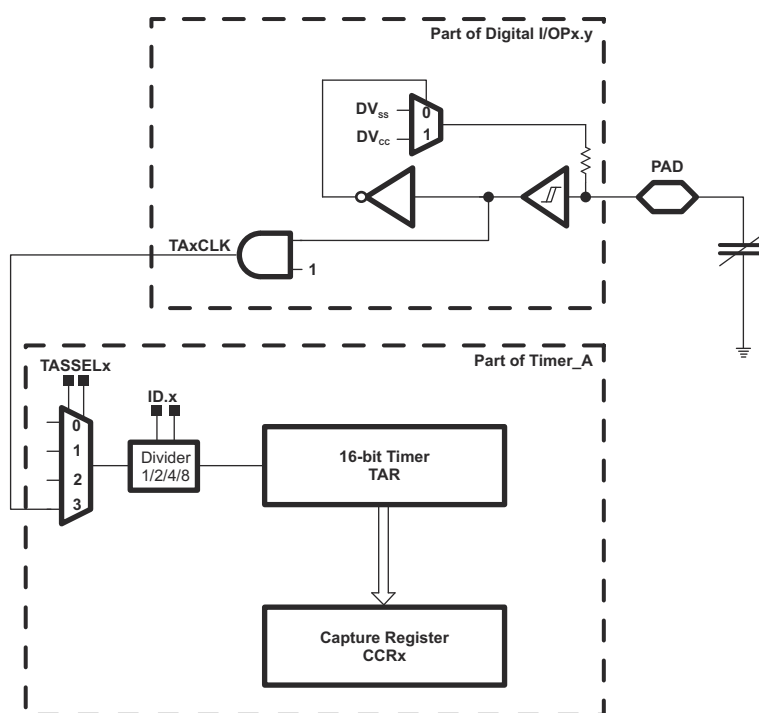


图 8-1. 使用引脚振荡器的示例电路和配置

触摸板电容（外部容性负载）的变化会对引脚振荡器频率产生影响。靠近的指尖会增加触摸板的电容，从而导致一个由更长充电时间引起的较低自身振荡频率。可以直接在内置计时器通道中捕捉振荡频率。图 8-2 展示了引脚的典型灵敏度。

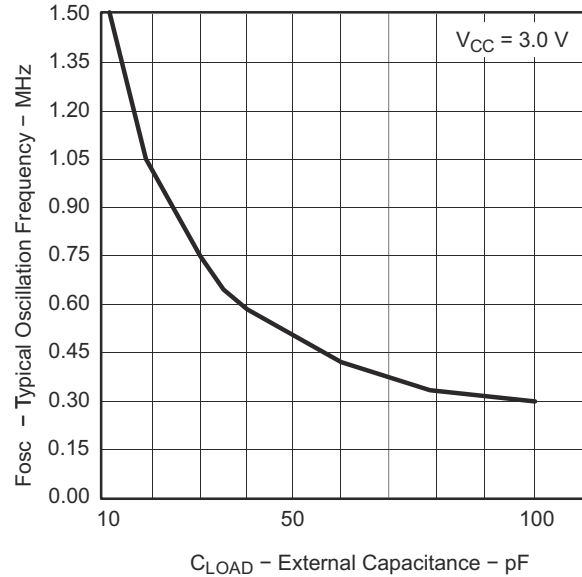


图 8-2. 典型引脚振荡频率

8.2.7 P1 和 P2 中断

端口 P1 和 P2 中的每个引脚都具有中断功能，通过 PxIFG、PxIE 和 PxIES 寄存器进行配置。所有 P1 引脚都会获得一个中断向量，所有 P2 引脚都会获得一个不同的中断向量。可以测试 PxIFG 寄存器以确定 P1 或 P2 中断的源。

8.2.7.1 中断标志寄存器 P1IFG、P2IFG

每个 PxIFGx 位都是其相应 I/O 引脚的中断标志，在引脚上出现所选输入信号边沿时被设置。所有 PxIFGx 中断标志都在其相应的 PxIE 位和 GIE 位被设置时请求中断。必须使用软件将每个 PxIFG 标志复位。软件还可以设置每个 PxIFG 标志，从而提供一种方法来生成由软件启动的中断。

位 = 0：无中断待处理

位 = 1：有中断待处理

只有转换，而非静态电平，导致中断。如果任何 PxIFGx 标志在 Px 中断服务例程执行期间被设置，或者在 Px 中断服务例程的 RETI 指令执行后被设置，则设置的 PxIFGx 标志会生成另一个中断。这确保每个转换被确认。

备注

更改 PxOUT 或 PxDIR 时的 PxIFG 标志

对 P1OUT、P1DIR、P2OUT 或 P2DIR 进行写入可能会引发设置相应的 P1IFG 或 P2IFG 标志。

8.2.7.2 中断边沿选择寄存器 P1IES、P2IES

每个 PxIES 位为相应的 I/O 引脚选择中断边沿。

位 = 0：在进行从低到高转换时设置 PxIFGx 标志

位 = 1：在进行从高到低转换时设置 PxIFGx 标志

备注
对 PxIESx 进行写入

对 P1IES 或 P2IES 进行写入可能会引发设置相应的中断标志。

PxIESx	PxINx	PxIFGx
0 → 1	0	可置 1
0 → 1	1	未改变
1 → 0	0	未改变
1 → 0	1	可置 1

8.2.7.3 中断使能 P1IE , P2IE

每个 PxIE 位启用相关的 PxIFG 中断标志。

位 = 0 : 禁用中断。

位 = 1 : 启用中断。

8.2.8 配置未使用的端口引脚

未使用的 I/O 引脚应该被配置为 I/O 功能，输出方向，并在板上保持未连接状态，以防止一个悬空输入并减少功耗。PxOUT 位的值无关紧要，因为引脚未连接。或者，集成的上拉/下拉电阻器可通过置位未使用引脚的 PxREN 位来启用以防止悬空输入。请参阅 *系统复位、中断和工作模式* 一章，以了解未使用的引脚的端接。

8.3 输入 I/O 寄存器

表 8-2 中列出了数字 I/O 寄存器。

表 8-2. 数字 I/O 寄存器

端口	地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
P1	020h	P1IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	021h	P1OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	022h	P1DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	023h	P1IFG	中断标志	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.4
	024h	P1IES	中断边沿选择	读取/写入	未改变	节 8.3.5
	025h	P1IE	中断使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.6
	026h	P1SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	041h	P1SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	027h	P1REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
P2	028h	P2IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	029h	P2OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	02Ah	P2DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	02Bh	P2IFG	中断标志	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.4
	02Ch	P2IES	中断边沿选择	读取/写入	未改变	节 8.3.5
	02Dh	P2IE	中断使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.6
	02Eh	P2SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 C0h ⁽¹⁾	节 8.3.7
	042h	P2SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	02Fh	P2REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
P3	018h	P3IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	019h	P3OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	01Ah	P3DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	01Bh	P3SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	043h	P3SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	010h	P3REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
	P4	01Ch	P4IN	输入	只读	未更改
01Dh		P4OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
01Eh		P4DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
01Fh		P4SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
044h		P4SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
011h		P4REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
P5	030h	P5IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	031h	P5OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	032h	P5DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	033h	P5SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	045h	P5SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	012h	P5REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9

表 8-2. 数字 I/O 寄存器 (continued)

端口	地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
P6	034h	P6IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	035h	P6OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	036h	P6DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	037h	P6SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	046h	P6SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	013h	P6REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
P7	038h	P7IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	03Ah	P7OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	03Ch	P7DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	03Eh	P7SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	047h	P7SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	014h	P7REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9
P8	039h	P8IN	输入	只读	未更改	节 8.3.1
	03Bh	P8OUT	输出	读取/写入	未改变	节 8.3.2
	03Dh	P8DIR	方向	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.3
	03Fh	P8SEL	端口选择	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.7
	048h	P8SEL2	端口选择 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.8
	015h	P8REN	电阻器使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 8.3.9

- (1) 如果 P2.6 和 P2.7 分别与 XIN 和 XOUT 进行多路复用，则 P2SEL 的复位值为 C0h。如果 XIN 和 XOUT 具有专用引脚，则复位值为 00h。

8.3.1 PxIN 寄存器

端口 x 的输入寄存器

图 8-3. PxIN 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxIN							
r	r	r	r	r	r	r	r

表 8-3. PxIN 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxIN	R	未更改	端口 x 的输入。每个位对应端口 x 上的一条通道。 未定义复位值。 0b = 输入为低电平 1b = 输入为高电平

8.3.2 PxOUT 寄存器

端口 x 的输出寄存器

图 8-4. PxOUT 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxOUT							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 8-4. PxOUT 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxOUT	R/W	未更改	端口 x 输出。每个位对应端口 x 上的一条通道。 未定义复位值。 当 I/O 被配置为输出模式时： 0b = 输出为低电平。 1b = 输出为高电平。 当 I/O 被配置为输入模式且被使能上拉/下拉时： 0b = 选择下拉 1b = 选择下拉

8.3.3 PxDIR 寄存器

端口 x 的方向寄存器

图 8-5. PxDIR 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxDIR							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-5. PxDIR 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxDIR	R/W	0h	端口 x 方向。每个位对应端口 x 上的一条通道。 0b = 端口被配置为输入 1b = 端口被配置为输出

8.3.4 PxIFG 寄存器

端口 x 中断标志寄存器 (仅限端口 1 和端口 2)

图 8-6. PxIFG 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxIFG							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-6. PxIFG 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxIFG	R/W	0h	端口 x 中断标志。每个位对应端口 x 上的一条通道。 0b = 无中断挂起。 1b = 中断挂起。

8.3.5 PxIES 寄存器

端口 x 中断边沿选择寄存器 (仅限端口 1 和端口 2)

图 8-7. PxIES 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxIES							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 8-7. PxIES 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxIES	R/W	未更改	端口 x 中断边沿选择。每个位对应端口 x 上的一条通道。 未定义复位值。 0b = PxIFG 标志在电平由低到高转换时置 1 1b = PxIFG 标志在电平由高到低转换时置 1

8.3.6 PxIE 寄存器

端口 x 中断使能寄存器 (仅限端口 1 和端口 2)

图 8-8. PxIE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxIE							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-8. PxIE 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxIE	R/W	0h	端口 x 中断使能。每个位对应端口 x 上的一条通道。 0b = 相应端口的中断被禁止 1b = 相应端口的中断被使能

8.3.7 PxSEL 寄存器

端口 x 功能选择寄存器

图 8-9. PxSEL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxSEL							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-9. PxSEL 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxSEL	R/W	0h	<p>端口功能选择。每个位对应端口 x 上的一条通道。</p> <p>将 PxSEL2 和 PxSEL 中每个位位置的值组合起来指定该功能。例如，如果 P1SEL2.5 = 1 且 P1SEL.5 = 0，则为 P1.5 选择辅助模块功能。</p> <p>有关每个值的定义，请参阅 PxSEL2。</p> <hr/> <p style="text-align: center;">备注</p> <p>注意：如果 P2.6 和 P2.7 分别与 XIN 和 XOUT 进行多路复用，则 P2SEL 的复位值为 C0h。如果 XIN 和 XOUT 有专用引脚，则 P2SEL 的复位值为 00h。</p>

8.3.8 PxSEL2 寄存器

端口 x 功能选择寄存器 2

图 8-10. PxSEL2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxSEL2							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-10. PxSEL2 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxSEL2	R/W	0h	<p>端口功能选择。每个位对应端口 x 上的一条通道。</p> <p>PxSEL2 和 PxSEL 中每个位位置的值组合起来指定该功能。例如，如果 P1SEL2.5 = 1 且 P1SEL.5 = 0，则为 P1.5 选择辅助模块功能。</p> <p>00b = 选择通用 I/O</p> <p>01b = 选择主要模块功能</p> <p>10b = 选择第二模块功能</p> <p>11b = 选择第三模块功能</p>

8.3.9 PxREN 寄存器

端口 x 上拉或下拉电阻使能寄存器

图 8-11. PxREN 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PxREN							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 8-11. PxREN 寄存器说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	PxREN	R/W	0h	端口 x 上拉或下拉电阻使能。每个位对应端口 x 上的一条通道。 当端口配置为输入时，设置该位可启用或禁用上拉或下拉 0b = 上拉或下拉被禁用 1b = 上拉或下拉被使能



本章描述了 SVS 的运行。SVS 在已选 MSP430x2xx 器件上执行。

9.1 电源电压监控器 (SVS) 介绍	352
9.2 SVS 运行	353
9.3 SVS 寄存器	355

9.1 电源电压监控器 (SVS) 介绍

SVS 被用于监控 AV_{CC} 电源电压或一个外部电压。当电源电压或外部电压降至一个用户已选的阈值以下时，可以配置 SVS 来置位一个标志或产生一个 POR 复位。

SVS 的功能包括：

- AV_{CC} 监控
- POR 的可选生成
- 软件可访问的 SVS 比较器输出
- 低电压条件下被锁存和可由软件访问
- 14 个可选择的阈值水平
- 外部通道管理外部电压

在图 9-1 展示了 SVS 结构图。

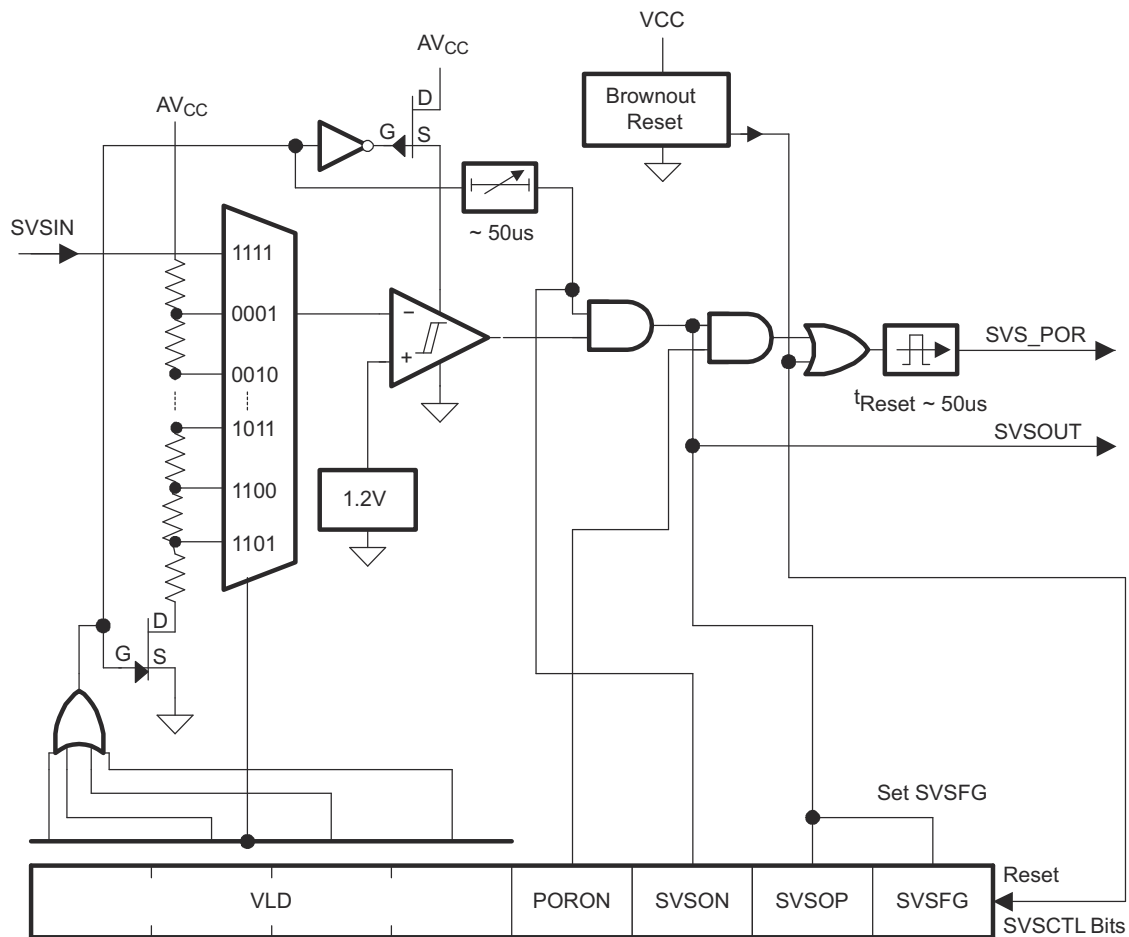


图 9-1. SVS 结构图

9.2 SVS 运行

SVS 检测 AV_{CC} 电压是否降至一个可选择的水平以下。发生一个低电压状况时，它可以被配置以便提供一个 POR 或置位一个标志。在一个掉电复位后禁用 SVS，以减少电流消耗。

9.2.1 配置 SVS

VLDx 位被用于使能/禁用 SVS 和为与 AV_{CC} 比较选择 14 个可选择的阈值水平 ($V_{(SVS_IT-)}$) 中的一个。SVS 在 VLDx = 0 时关闭，在 VLDx > 0 时打开。SVSON 不能打开 SVS。相反，它反映了 SVS 的打开/关闭状态并且当 SVS 打开时，它可用于决定 SVS 的状态。

当 VLDx=1111 时，外部 SVSIN 通道被选用。把 SVSIN 上的电压和一个约为 1.25V 的内部电平相比较。

9.2.2 SVS 比较器运行

当 AV_{CC} 降至所选阈值以下时，或外部电压降至它的 1.25V 阈值以下时，会出现一个低电压状态。任何低电压状态都会置位 SVSFG 位。

PORON 位使能或禁用 SVS 的器件复位功能。如果 PORON=1，那么当 SVSFG 位被置位时，将会产生一个 POR。如果 PORON=0，一个低电压状态置位 SVSFG，但不会产生一个 POR。

SVSFG 位被锁存。这将允许用户软件确定之前是否发生了一个低电压状态。SVSFG 位必须由软件复位。如果 SVSFG 复位后，低电压状态仍然存在，那么立即被 SVS 再一次置位。

9.2.3 更改 VLDx 位

当 VLDx 位从 0 到其他非零值改变时，它将应用一个自动的稳定延迟 $t_d(SVSON)$ 从而允许 SVS 电路去结算。 $t_d(SVSON)$ 延迟约为 50 μ s。在本次延迟期间，SVS 将不会标志一个低电压状态或复位器件，并且 SVSON 被清除。软件可以检测 SVSON 位来确定延迟何时会过去及 SVS 何时正常的监控电压。在 SVSON=0 期间，写入 SVSCTL 将会中止 SVS 自动的结算延迟， $t_d(SVSON)$ ，并立即切换 SVS 到激活模式。这样做，SVS 电路可能不会被结算，就会导致不可预知的行为。

当 VLDx 位从 0 到其他非零值改变时，电路需要时间 $t_{\text{稳定}}$ 去结算。稳定时间 $t_{\text{稳定}}$ 最大为 ~12 μ s。设置特定器件数据表。没有阻止 SVSFG 被置位或器件复位的自动延迟可使用。在不同水平间的切换建议流程显示在下列的代码中。

```

; Enable SVS for the first time:
MOV.B  #080h,&SVSCTL ; Level 2.8V, do not cause POR
; ...

; Change SVS level
MOV.B  #000h,&SVSCTL ; Temporarily disable SVS
MOV.B  #018h,&SVSCTL ; Level 1.9V, cause POR
; ...

```

9.2.4 SVS 运行范围

当 AV_{CC} 接近阈值时，每一个 SVS 水平都有滞后，以此来降低对小型电源电压改变的敏感度。在图 9-2 展示了 SVS 运行和 SVS/掉电交互运行。

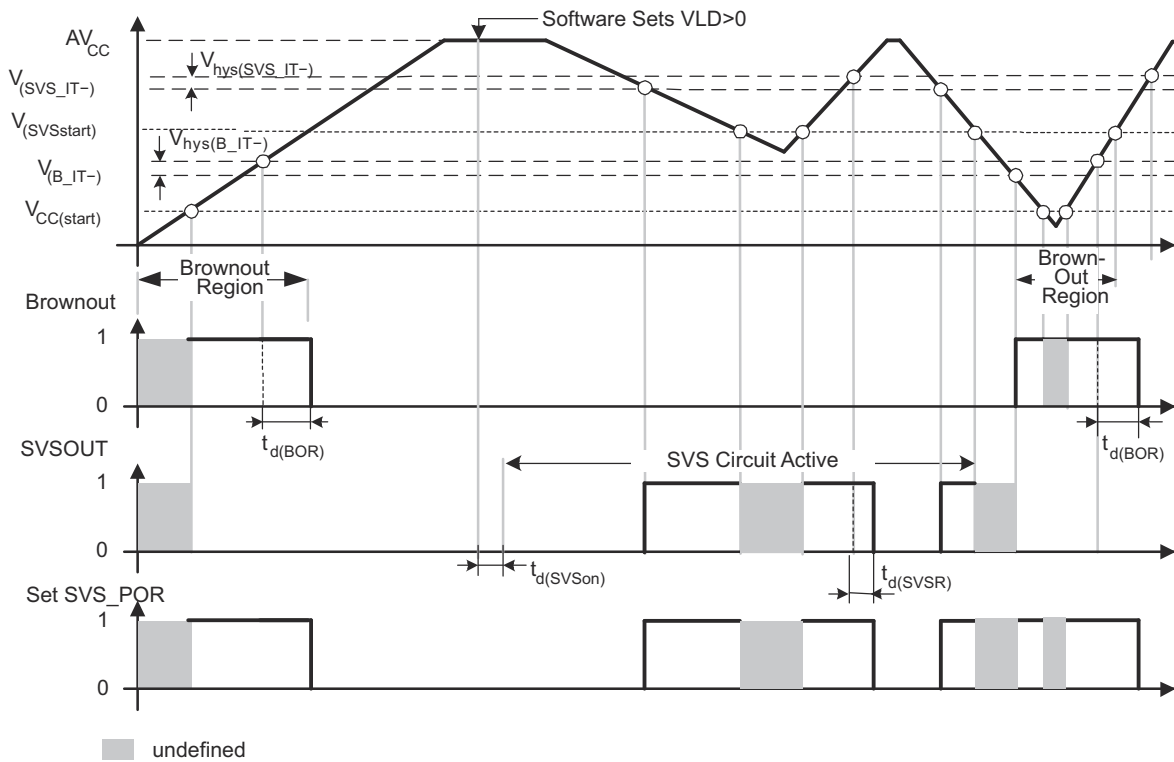


图 9-2. SVS 运行水平和掉电/复位电路

9.3 SVS 寄存器

表 9-1 列出了 SVS 的存储器映射寄存器。

表 9-1. SVS 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
55h	SVSCTL	SVS 控制	读取/写入	BOR 后为 00h	节 9.3.2

9.3.1 SVSCTL 寄存器

SVS 控制寄存器

图 9-3 展示了 SVSCTL，表 9-2 中对此进行了介绍。

返回表 9-1。

图 9-3. SVSCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
VLDx			PORON		SVSON	SVSOP	SVSFG
rw-0 ⁽¹⁾	rw-0 ⁽¹⁾	rw-0 ⁽¹⁾	rw-0 ⁽¹⁾	rw-0 ⁽¹⁾	r-0 ⁽¹⁾	r-0 ⁽¹⁾	rw-0 ⁽¹⁾

表 9-2. SVSCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	VLDx	R/W	0h ⁽¹⁾	电压电平检测这些位打开 SVS 并选择标称 SVS 阈值电压电平。有关参数请参阅《器件专用数据表》。 0000b = SVS 关闭 0001b = 1.9 V 0010b = 2.1 V 0011b = 2.2 V 0100b = 2.3 V 0101b = 2.4 V 0110b = 2.5 V 0111b = 2.65 V 1000b = 2.8 V 1001b = 2.9 V 1010b = 3.05 V 1011b = 3.2 V 1100b = 3.35 V 1101b = 3.5 V 1110b = 3.7 V 1111b = 将外部输入电压 SVSIN 与 1.25V 进行比较
3	PORON	R/W	0h ⁽¹⁾	POR 打开。该位通过使能 SVSFG 标志来引起 POR 器件复位。 0b = SVSFG 不引发 POR 1b = SVSFG 引发 POR
2	SVSON	R	0h ⁽¹⁾	SVS 打开。该位报告 SVS 操作的状态。该位没有打开 SVS。通过设置 VLDx>0 打开 SVS。 0b = SVS 关闭 1b = SVS 开启
1	SVSOP	R	0h ⁽¹⁾	SVS 输出。该位反映了 SVS 比较器的输出值。 0b = SVS 比较器输出为低电平 1b = SVS 比较器输出为高电平
0	SVSFG	R/W	0h ⁽¹⁾	SVS 标志。该位指示低电压情况。SVSFG 在发生低电压情况后保持置位状态，直到由软件复位。 0b = 未发生低电压情况 1b = 存在或已发生低电压情况

(1) 只能由一个掉电复位来复位，不能由 POR 或 PUC 复位。

安全装置定时器+ (WDT+)



安全装置定时器+ (WDT+) 是一个 16 位定时器，可以用来作为安全装置或作为一个间隔定时器。本章介绍了 WDT+。WDT+ 已在所有 MSP430x2xx 器件中执行。

10.1 安全装置定时器+ (WDT+) 介绍.....	358
10.2 安全装置定时器+ 操作.....	360
10.3 安全装置定时器+ 寄存器.....	362

10.1 安全装置定时器+ (WDT+) 介绍

安全装置定时器 (WDT+) 模块的主要功能是在软件问题发生后执行受控的系统重启。如果选定的时间间隔结束，则产生一个系统复位。如果在一个应用中不需要安全装置功能，则该模块可被禁用或配置为一个间隔定时器，并能在选定的时间间隔内产生中断。

安全装置定时器+ 模块的功能包括：

- 4 个软件可选时间间隔
- 安全装置
- 间隔模式
- WDT+ 控制寄存器的访问受密码保护
- $\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$ 引脚功能的控制
- 可选时钟源
- 可以停止来节省电能
- 时钟故障安全功能

在图 10-1 中给出了 WDT+ 的结构图。

备注

看门狗计时器+ 上电激活

在一个 PUC 后，WDT+ 模块在安全装置模式下自动配置，通过使用 DCOCLK，用一个最初的 32768 个时钟周期复位间隔。用户必须在初始复位间隔期满前设置或暂停 WDT+。

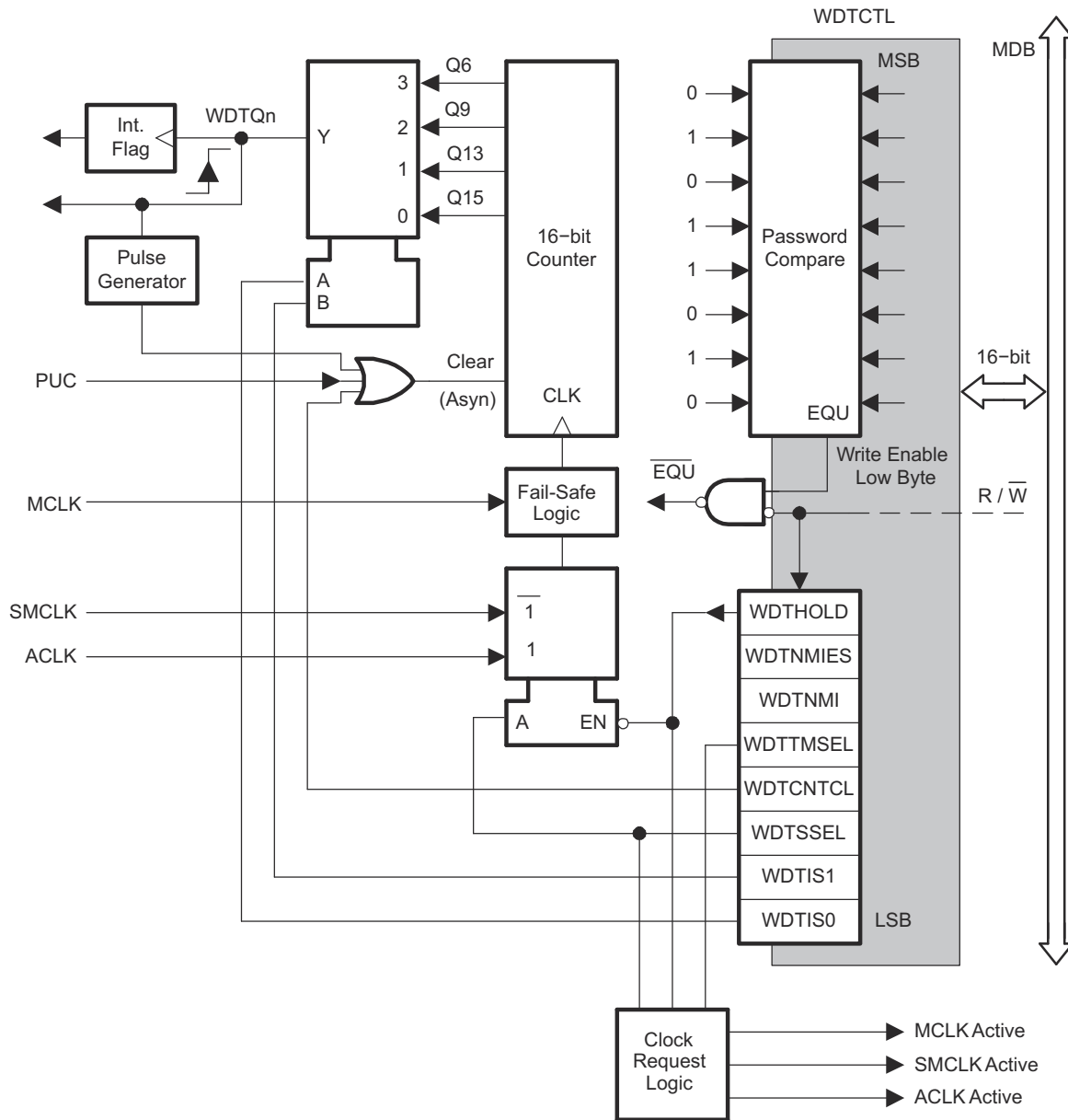


图 10-1. 安全装置定时器+ 方框图

10.2 安全装置定时器+ 操作

WDT+ 模块可以被配置为一个安全装置或带有 WDTCTL 寄存器间隔定时器。WDTCTL 寄存器中还包含控制位来配置 RST/NMI 引脚。WDTCTL 是一个 16 位的，密码保护的，读取/写入寄存器。任何读取或写入访问必须使用字指令且写入密码必须包括高字节中的写入密码 05Ah。任何用除了 05Ah 以外的其他任何高字节值写入 WDTCTL 都是一个安全密钥违反，且会触发一个 PUC 系统复位而与定时器模式无关。任何 WDTCTL 的读取会读取高字节中的 069h。WDT+ 计数器的时钟速度应当较慢或等于系统频率 (MCLK)。

10.2.1 安全装置定时器+ 计数器

安全装置定时器+ 计数器 (WDCNT) 是一个 16 位的不能直接用软件访问递增计数器。WDCNT 通过安全装置定时器+ 控制寄存器 WDTCTL 来控制 WDCNT 和选择时间间隔。

WDCNT 可以来源于 ACLK 或 SMCLK。用 WDTSSSEL 位时钟源选择。

10.2.2 安全装置模式

在一个 PUC 条件后，通过使用 DCOCLK 来用一个最初的 32768 个周期复位间隔配置 WDT+ 模块。用户必须在初始复位间隔或将产生另一个 PUC 到期前设置、暂停、或清零 WDT+。当 WDT+ 被配置为在安全装置模式下操作时，要么是用不正确的密码写入 WDTCTL，要么已选时间间隔到期时触发一个 PUC。一个 PUC 将 WDT+ 复位到其缺省状态并把 RST/NMI 引脚配置复位模式。

10.2.3 间隔定时器模式

把 WDTTMSSEL 位设置为 1 能选择间隔定时器模式。这种模式可用于提供周期性中断。在间隔定时器模式下，在选定时间间隔期满时 WDTIFG 标志被置位。在间隔定时器模式下，在选定定时器的间隔期满时不会产生一个 PUC，且 WDTIFG 使能位 WDTIE 保持不变。

当 WDTIE 位和 GIE 位被置位时，WDTIFG 标志会请求一个中断。当中断标志 WDTIFG 的中断请求被服务时它会自动复位时，或能通过软件被置 1。在间隔定时器模式下的中断向量地址与在安全装置模式下是不同的。

备注

修改看门狗计时器+

为了即时 PUC 或中断避免意外，WDT+ 的间隔时间应该与在一个单指令中的 WDCNTCL=1 一起改变。

为了避免可能出现不正确的时间间隔，在改变时钟源前应暂停 WDT+。

10.2.4 安全装置定时器+ 的中断

WDT+ 为中断控制使用了 SFR 中的两个位。

- WDT+ 中断标志，WDTIFG，位于 IFG1.0。
- WDT+ 中断使能，WDTIE，位于 IE1.0。

当在安全装置模式下使用 WDT+ 时，WDTIFG 标志源自一个复位向量中断。通过复位中断服务子例程，该 WDTIFG 可用于以确定安全装置是否引起了器件复位。如果该标志被置位，那么安全装置定时器+ 就会要么通过超时要么通过一个违反安全密钥来初始化复位状态。如果 WDTIFG 被清零，那么复位就是由一个不同的源引起的。

在间隔定时器模式下使用 WDT+，如果 WDTIE 和 GIE 位被置位，在选定的时间间隔请求一个 WDT+ 间隔定时器中断后，WDTIFG 标志就会被置位。间隔定时器中断向量与安全装置下模式下的复位向量是不同的。在间隔定时器模式下，当中断得到服务时 WDTIFG 标志自动复位，或可以用软件复位。

10.2.5 安全装置定时器+ 时钟故障安全操作

WDT+ 模块提供了一个失效安全时钟功能，来确保在安全装置模式下 WDT+ 的时钟不能被禁用。这意味着 WDT+ 时钟选择可能会受到影响低功耗模式。例如，如果 ACLK 是 WDT+ 的时钟源，LPM4 将无法使用，因为 WDT+

将防止 ACLK 被禁用。另外，如果 ACLK 或 SMCLK 在来自 WDT+ 时失败，WDT+ 的时钟源会自动切换到 MCLK。在这种情况下，如果 MCLK 来源于晶振，但晶体已失效，那么失效保护功能将激活 DCO 并把它用作 MCLK 的源。

当 WDT+ 模块用于在间隔定时器模式下时，没有时钟源的失效安全功能。

10.2.6 在低功耗模式下的操作

MSP430 器件具有多种低功耗模式。不同的时钟信号可在不同的低功耗模式中使用。用户的应用程序要求和使用的时钟类型决定了应如何配置 WDT+。例如，如果用户想使用低功耗模式 3，就不应该在安全装置模式下把 SMCLK 配置为 WDT+ 的时钟源，因为 WDT+ 将为保持 SMCLK 的其时钟源一直使能 SMCLK，这将增加了 LPM3 的电流消耗。当对安全装置定时器+ 没有要求时，WDTHOLD 位可以用来保持 WDTCNT，这就降低了功耗。

10.2.7 软件示例

任何对 WDTCTL 的写入操作都必须为一个字的高字节 05Ah 操作 (WDTPW):

```
; Periodically clear an active watchdog
MOV #WDTPW+WDTCNTCL, &WDTCTL
;
; Change watchdog timer+ interval
MOV #WDTPW+WDTCNTL+WDTSSSEL, &WDTCTL
;
; Stop the watchdog
MOV #WDTPW+WDTHOLD, &WDTCTL
;
; Change WDT+ to interval timer mode, clock/8192 interval
MOV #WDTPW+WDTCNTCL+WDTTMSEL+WDTISO, &WDTCTL
```

10.3 安全装置定时器+ 寄存器

表 10-1 列出了看门狗计时器+ 的存储器映射寄存器。

表 10-1. 安全装置定时器+ 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
120h	WDTCTL	看门狗计时器+ 控制	读取/写入	PUC 后为 6900h	节 10.3.2
0h	IE1	SFR 中断使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 10.3.3
2h	IFG1	SFR 中断标志 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 10.3.4

10.3.1 WDTCTL 寄存器

看门狗计时器+ 控制寄存器

图 10-2 展示了 WDTCTL，表 10-2 中对此进行了介绍。

返回表 10-1。

图 10-2. WDTCTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
WDTPW							
rw - 0	rw - 1	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 0	rw - 1
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
WDTHOLD	WDTNMIES	WDTNMI	WDTTMSSEL	WDCNTCL	WDTSSSEL	WDTISx	
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r0(w)	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 10-2. WDTCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	WDTPW	R/W	69h	安全装置定时器+ 密码。始终读为 069h。必须写入 05Ah。写入任何其他值都会产生 PUC。
7	WDTHOLD	R/W	0h	安全装置定时器+ 保持。该位阻止了安全装置定时器+。设置 WDTHOLD=1 时，在不使用 WDT+ 时节省了功耗。 0b = 不停止看门狗计时器+ 1b = 停止看门狗计时器+
6	WDTNMIES	R/W	0h	安全装置定时器+ 的 NMI 沿选择。当 WDTNMI = 1 时，该位选择 NMI 中断的中断边沿。修改该位可以触发一个 NMI。为了避免引发意外 NMI，当 WDTIE=0 时，修改该位。 0b = NMI 在上升边沿上 1b = NMI 在下降边沿上
5	WDTNMI	R/W	0h	安全装置定时器+ NMI 选择。该位为 $\overline{\text{RSTNMI}}$ 引脚选择功能。 0b = 复位功能 1b = NMI 功能
4	WDTTMSSEL	R/W	0h	安全装置定时器+ 模式选择 0b = 看门狗模式 1b = 间隔定时器模式
3	WDCNTCL	R/W	0h	安全装置定时器+ 计数清零。设置 WDCNTCL=1，清零计数值到 0000h。WDCNTCL 被自动复位。 0b = 无操作 1b = WDCNT = 0000h
2	WDTSSSEL	R/W	0h	安全装置定时器+ 时钟源选择。 0b = SMCLK 1b = ACLK
1-0	WDTISx	R/W	0h	安全装置定时器+ 间隔选择。这些位选择看门狗计时器+ 间隔以设置 WDTIFG 标志或生成 PUC。 00b = 看门狗时钟源 /32768 01b = 看门狗时钟源 /8192 10b = 看门狗时钟源 /512 11b = 看门狗时钟源 /64

10.3.2 IE1 寄存器

中断使能 1 寄存器

图 10-3 展示了 IE1，表 10-3 中对此进行了介绍。

返回表 10-1。

图 10-3. IE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
			NMIIE				WDTIE
							rw - 0

表 10-3. IE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
4	NMIIE	R/W	0h	NMI 中断使能。该位启用 NMI 中断。 由于 IE1 中的其他位可以用于其他模块中，建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令，而不是 MOV.B 或 CLR.B 指令来设置或清零该位。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
3-1				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
0	WDTIE	R/W	0h	安全装置定时器+ 中断使能。该位启用间隔定时器模式下的 WDTIFG 中断。没有必要为安全装置模式设置此位。 由于 IE1 中的其他位可以用于其他模块中，建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令，而不是 MOV.B 或 CLR.B 指令来设置或清零该位。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能

10.3.3 IFG1 寄存器

中断标志 1 寄存器

图 10-4 展示了 IFG1，表 10-4 中对此进行了介绍。

返回表 10-1。

图 10-4. IFG1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
			NMIIFG				WDTIFG
rw - 0							rw - (0)

表 10-4. IFG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
4	NMIIFG	R/W	0h	NMI 中断标志。NMIIFG 必须由软件复位。由于 IFG1 中的其他位可以用于其他模块中，建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令，而不是 MOV.B 或 CLR.B 指令清零 NMIIFG。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
3-1				这些位可以用于其他模块。请参阅《特定器件数据手册》。
0	WDTIFG	R/W	0h	安全装置定时器+ 中断使能。在安全装置模式下，WDTIFG 保持直到被软件复位。在间隔模式下，通过处理中断来自动复位 WDTIFG，或者可以由软件复位。由于 IFG1 中的其他位可以用于其他模块中，建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令，而不是 MOV.B 或 CLR.B 指令来清零 WDTIFG。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

This page intentionally left blank.

章节 11 硬件乘法器



本章介绍了硬件乘法器。硬件乘法器用在一些 MSP430x2xx 器件中。

11.1 硬件乘法器介绍.....	368
11.2 硬件乘法器操作.....	368
11.3 硬件乘法器寄存器.....	372

11.1 硬件乘法器介绍

硬件乘法器是一个外设但不是 MSP430 CPU 的一部分。这意味着，它的活动不干扰 CPU 的活动。乘法器寄存器是用 CPU 指令加载和读取的外设寄存器。

硬件乘法器支持：

- 无符号的乘法
- 有符号的乘法
- 无符号乘法累加
- 有符号的乘法累加
- 16×16 位，16×8 位，8×16 位，8×8 位

在图 11-1 中给出了硬件乘法器的方框图。

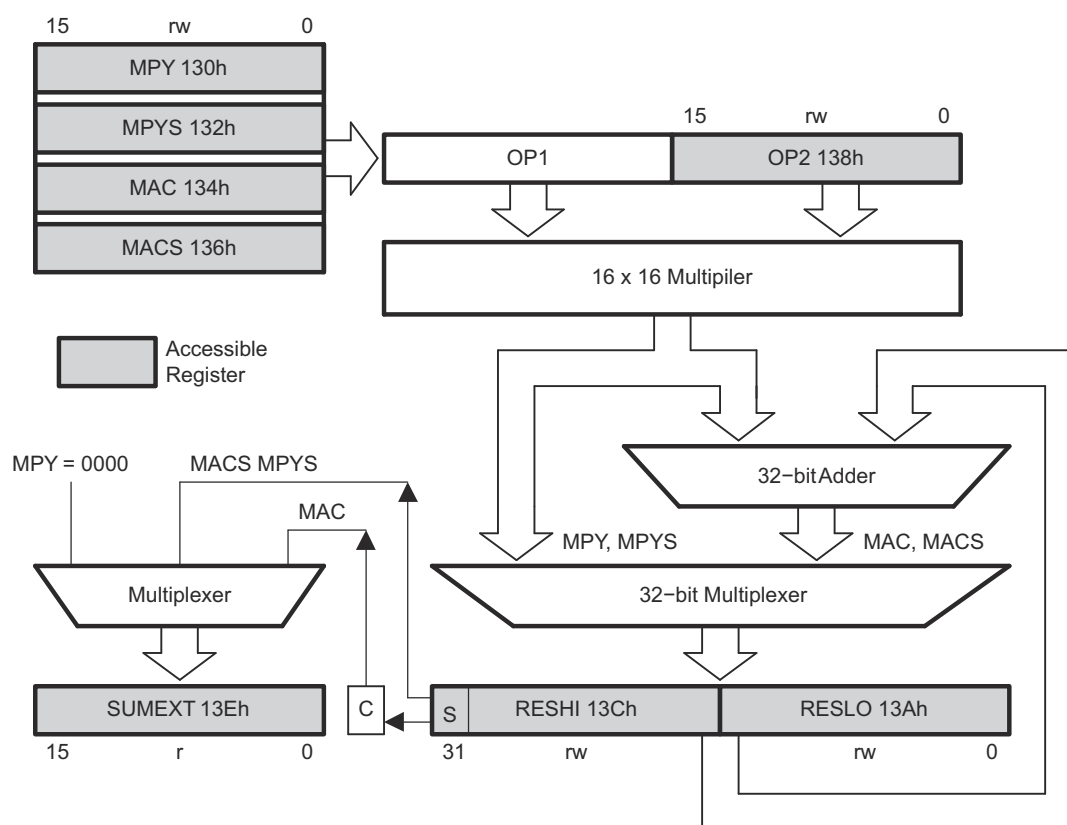


图 11-1. 硬件乘法器方框图

11.2 硬件乘法器操作

硬件乘法器支持无符号乘法，有符号乘法，无符号乘法累加，和有符号乘法累加操作。通过寻址写入的第一个操作数来选择操作类型。

硬件乘法器有两个 32 位操作数寄存器，OP1 和 OP2，和三个结果寄存器，RESLO，RESHI，和 SUMEXT。RESLO 用于存储结果的低位，RESHI 用于存储结果的高位，和 SUMEXT 用于存储结果的信息。除非使用一个间接寻址模式来访问结果，在 3 个 MCLK 周期内结果就可以准备就绪且在写入 OP2 后可用下一条指令读取。当使用对结果间接寻址时，在结果准备就绪之前需要一个 NOP。

11.2.1 操作数寄存器

一个操作数寄存器 OP1 有四个地址，已在表 11-1 中给出，用于选择乘法器模式。把第一个操作数写入指定的地址会选择乘法运算的类型，但不启动任何操作。把第二个操作数写入两个操作数寄存器 OP2 会初始化乘法运算。

写入 OP2 会用存储在 OP1 和 OP2 中的值启动所选操作。结果将被写入这 3 个结果寄存器：RESLO，RESHI，和 SUMEXT。

如果 OP1 的值用于连续操作，则重复的乘法操作可以无需重新加载 OP1 进行。没有必要为了执行操作而重新写入 OP1 值。

表 11-1. OP1 的各地址

OP1 的各地址	寄存器名称	运行
0130h	MPY	无符号乘法
0132h	MPYS	有符号乘法
0134h	MAC	无符号乘法累加
0136h	MACS	有符号倍乘加

11.2.2 结果寄存器

结果低寄存器 RESLO 保存了计算结果的低 16 位。结果高位寄存器 RESHI 的内容取决于乘法运算，并在表 11-2 列出。

表 11-2. RESHI 的内容

模式	RESHI 的内容
MPY	结果的高 16 位
MPYS	MSB 是结果的符号。剩余位是结果的高 15 位。二的补码表示法用于结果。
MAC	结果的高 16 位
MACS	结果的高 16 位。二的补码表示法用于结果。

总和扩展寄存器 SUMEXT 的内容依赖于乘法运算，并在表 11-3 列出。

表 11-3. SUMEXT 的内容

模式	SUMEXT
MPY	SUMEXT 始终是 0000H
MPYS	SUMEXT 包含结果的扩展符号 00000H = 结果为正数或零 0FFFFh = 结果为负
MAC	SUMEXT 包含的结果的进位 0000H = 结果无进位 0001H = 结果有进位
MACS	SUMEXT 包含结果的扩展符号 00000H = 结果为正数或零 0FFFFh = 结果为负

11.2.2.1 MACS 下溢和上溢

该乘法器不会自动检测 MACS 模式中的下溢和上溢。累加器的为正数范围是 0 到 7FFF FFFFh 且为负数范围是 0FFFF FFFFh 到 8000 0000H。当两个负数的总和产生一个介于一个正数范围的结果时，发生下溢。当两个正数的总和产生一个介于一个负数范围的结果时，发生上溢。在这两种情况下，SUMEXT 寄存器包含结果的符号，0FFFFh 是上溢而 0000H 为下溢。用户必须用软件检测并适当地处理这些条件。

11.2.3 软件示例

下面是所有乘法器模式的例子。当使用标准定义文件上的标签时，所有 8x8 模式都使用寄存器的绝对地址，因为汇编器将不会允许 B 访问字寄存器。

在软件中没有必要进行符号扩展。在有符号运行期间用一个字节指令访问乘法器将自动导致一个乘法器模块内的字节的符号扩展。

```

; 16x16 Unsigned Multiply
MOV    #01234h,&MPY    ; Load first operand
MOV    #05678h,&OP2    ; Load second operand
; ...                ; Process results
; 8x8 Unsigned Multiply.Absolute addressing.
MOV.B  #012h,&0130h    ; Load first operand
MOV.B  #034h,&0138h    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 16x16 Signed Multiply
MOV    #01234h,&MPYS   ; Load first operand
MOV    #05678h,&OP2    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 8x8 Signed Multiply.Absolute addressing.
MOV.B  #012h,&0132h    ; Load first operand
MOV.B  #034h,&0138h    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 16x16 Unsigned Multiply Accumulate
MOV    #01234h,&MAC    ; Load first operand
MOV    #05678h,&OP2    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 8x8 Unsigned Multiply Accumulate.Absolute addressing
MOV.B  #012h,&0134h    ; Load first operand
MOV.B  #034h,&0138h    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 16x16 Signed Multiply Accumulate
MOV    #01234h,&MACS   ; Load first operand
MOV    #05678h,&OP2    ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
; 8x8 Signed Multiply Accumulate.Absolute addressing
MOV.B  #012h,&0136h    ; Load first operand
MOV.B  #034h,R5        ; Temp. location for 2nd operand
MOV    R5,&OP2          ; Load 2nd operand
; ...                ; Process results
    
```

11.2.4 RESLO 的间接寻址

当使用间接或间接自动增量的寻址模式访问的结果寄存器时，在加载第二个操作数和访问一个结果寄存器之间至少需要一条指令。

```

; Access multiplier results with indirect addressing
MOV  #RESLO,R5      ; RESLO address in R5 for indirect
MOV  &OPER1,&MPY    ; Load 1st operand
MOV  &OPER2,&OP2    ; Load 2nd operand
NOP                      ; Need one cycle
MOV  @R5+,&xxx      ; Move RESLO
MOV  @R5,&xxx       ; Move RESHI
    
```

11.2.5 使用中断

如果在写入 OP1 后，但写入 OP2 之前发生了一个中断，且乘法器被用于服务该中断，那么就会失去原来的乘法器模式选择且结果是不可预知的。为了避免这种情况，应在使用硬件乘法器前禁止中断或不在中断服务程序中使用乘法器。

```

; Disable interrupts before using the hardware multiplier
DINT          ; Disable interrupts
NOP          ; Required for DINT
MOV  #xxh,&MPY ; Load 1st operand
MOV  #xxh,&OP2 ; Load 2nd operand
EINT          ; Interrupts may be enable before
              ; Process results
    
```

11.3 硬件乘法器寄存器

在表 11-4 中列出了硬件乘法器寄存器。

表 11-4. 硬件乘法器寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位
0130h	MPY	操作数 1 - 乘法	读取/写入	未改变
0132h	MPYS	操作数 1 - 有符号乘法	读取/写入	未改变
0134h	MAC	操作数 1 - 乘法累加	读取/写入	未改变
0136h	MACS	操作数 1 - 有符号乘法累加	读取/写入	未改变
0138h	OP2	操作数 2	读取/写入	未改变
013Ah	RESLO	结果低字	读取/写入	未定义
013Ch	RESHI	结果高字	读取/写入	未定义
013Eh	SUMEXT	总和扩展寄存器	读取	未定义



定时器_A 是一个带有复用捕捉/比较寄存器的 16 位定时器/计数器。本章介绍了 MSP430x2xx 器件系列的 Timer_A 的操作。

12.1 定时器_A 介绍.....	374
12.2 定时器_A 的运行.....	375
12.3 Timer_A 寄存器.....	387

12.1 定时器_A 介绍

定时器_A 是具有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器/计数器。定时器_A 能支持多个捕捉/比较, PWM 输出, 和反相时序。定时器_A 还有广泛的中断功能。计数器在溢出发生时可生成中断而每个捕捉/比较寄存器也可生成中断。

定时器_A 功能包括：

- 在四种运行模式下异步 16 位定时器/计数器
- 可选择和可配置的时钟源
- 两个或三个可配置的捕捉/比较寄存器
- 可配置的 PWM 输出功能
- 异步输入和输出锁存
- 对所有定时器_A 中断快速响应的中断向量寄存器

定时器_A 的框图如图 12-1 所示。

备注

使用字 计数

本章中使用了计数。这意味着计数器必须在在计数动作的过程中计数。如果将特定的值直接写入计数器, 则不会发生相关操作。

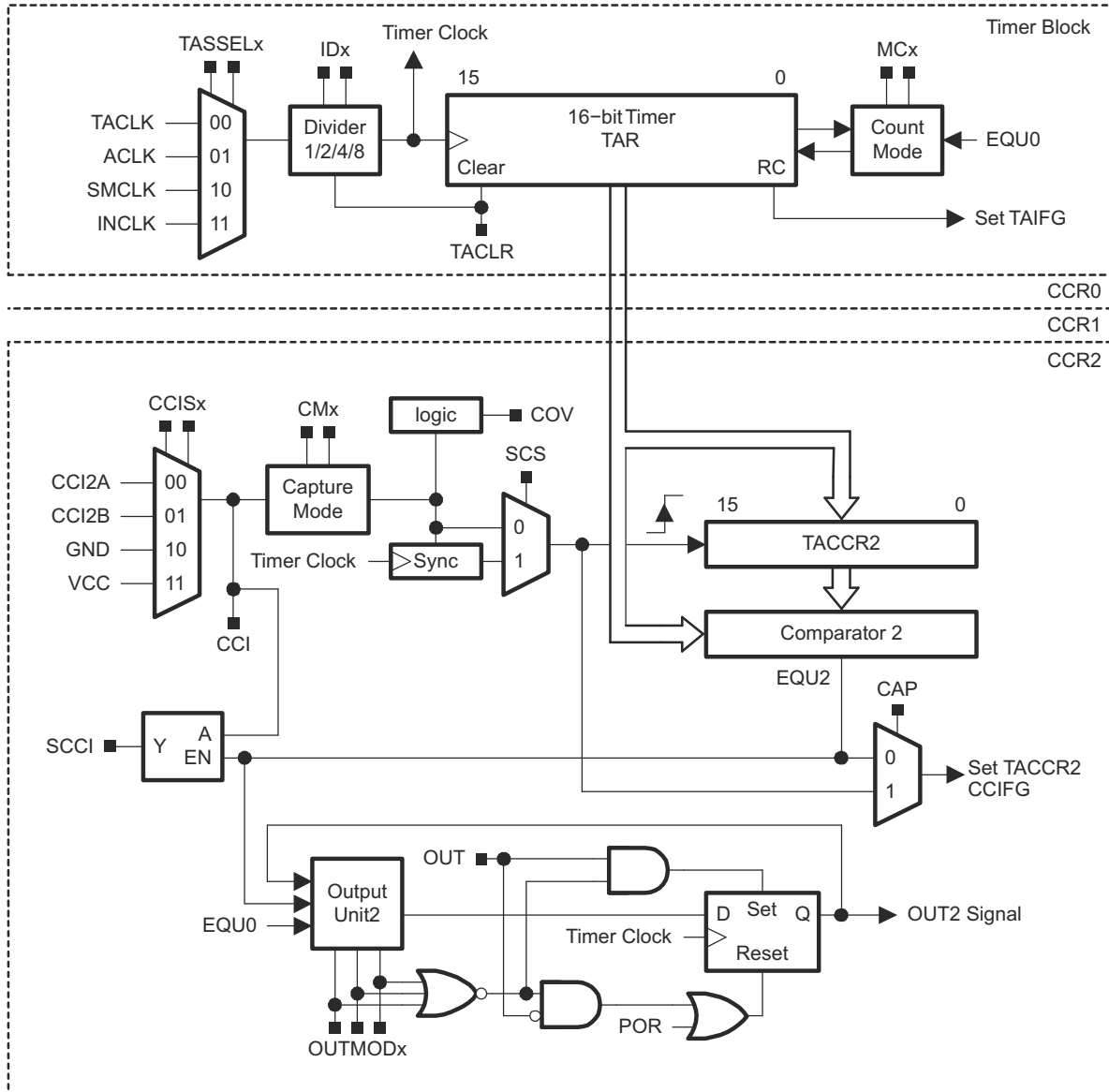


图 12-1. 定时器_A 的框图

12.2 定时器_A 的运行

使用用户软件配置定时器_A 模块。以下各节讨论了 Timer_A 的设置和操作。

12.2.1 16 位定时器计数器

16 位计时器/计数器寄存器 TAR 随着时钟信号的每个上升沿递增或递减 (具体取决于工作模式)。TAR 可以通过软件读取或写入。此外, 定时器溢出时, 它可以产生一个中断。

TAR 可以通过设置 TACLR 位被清除。在增/减模式下, 设置 TACLR 也可以清除时钟分频器和计数器方向。

备注

修改 Timer_A 寄存器

建议在修改其操作之前停止计时器（中断使能和中断标志除外），以避免错误操作情况。

当计时器时钟与 CPU 时钟异步时，对 TAR 的任何读取都应在计时器未运行时发生，否则结果可能无法预测。因此，当定时器运行时，需要多读几次，通过软件多数表决来确定正确的读数。对 TAR 的任何写入都将立即生效。

12.2.1.1 时钟源选择和分频

定时器的时钟源可以是内部时钟源 ACLK, SMCLK，或外部源 TACLK 和 INCLK。可以使用 TASSELx 位来选择时钟源。所选时钟源可以直接传递给计时器，也可以使用 IDx 位进行 2、4 或 8 分频。设置 TACLK 时，会将计时器时钟分频器复位。

12.2.2 启动定时器

定时器可以已下列的方法启动，或复位：

- 当 MCx > 0 时，定时器计数并且时钟源活跃。
- 当计时器采用向上计时模式或向上/向下计时模式时，可以通过向 TACCR0 写入 0 来停止计时器。然后，可以通过将一个非零值写入 TACCR0 来重启定时器。在这种情况下，计时器开始以增加的方向从零递增。

12.2.3 定时器模式控制

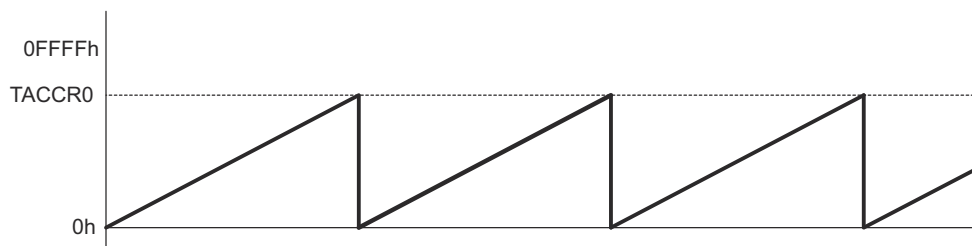
定时器有 4 种操作模式，见表 12-1：停止、增、连续和增/减。操作模式由 MCx 位来选择。

表 12-1. 定时器模式

MCx	模式	说明
00	停止	该定时器暂停。
01	向上	计时器会从零重复计数到 TACCR0 的值。
10	连续	定时器从 0 开始到 0FFFFh 重复计数。
11	增/减	计时器重复从零向上计数到 TACCR0 的值，然后再向下计数到零。

12.2.3.1 上数模式

如果定时器周期一定要和 0FFFFh 计数不同，那么就要用到上数模式了。计时器重复计数到比较寄存器 TACCR0 的值，该值定义了周期，如图 12-2 所示。周期内的计时器计数为 TACCR0+1。当计时器值等于 TACCR0 时，计时器从零开始重新计数。如果在计时器值大于 TACCR0 时选择向上计数模式，则计时器立即从零开始重新计数。


图 12-2. 向上计数模式

当定时器计数到 TACCR0 的值时，TACCR0 CCIFG 中断标志被置位。当计时器从 TACCR0 计数到零时，设置 TAIFG 中断标志。图 12-3 说明了标志置 1 周期。

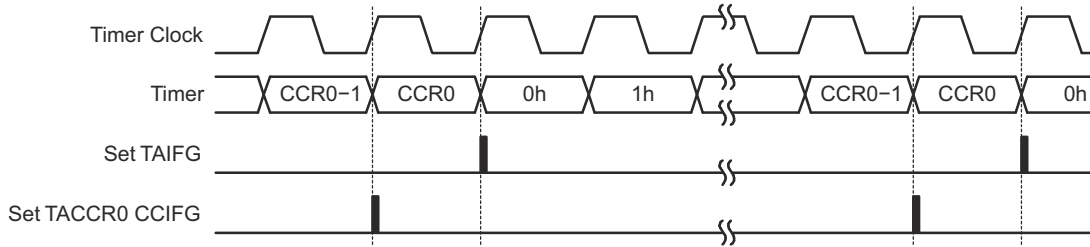


图 12-3. 增模式标志的置 1

12.2.3.2 更改周期寄存器 TACCR0

在计时器运行的同时更改 TACCR0 时，如果新周期大于或等于旧周期，或大于当前计数值，则计时器向上计数到新周期。如果新周期小于当前的计数值，那么定时器回到 0。但是，在计数器回到 0 之前会多出一个额外的计数。

12.2.3.3 连续模式

在连续模式中，定时器重复计数增加至 0FFFFh 并且从 0 重新开始，如图 12-4 所示。捕获/比较寄存器 TACCR0 的工作方式与其他捕获/比较寄存器相同。

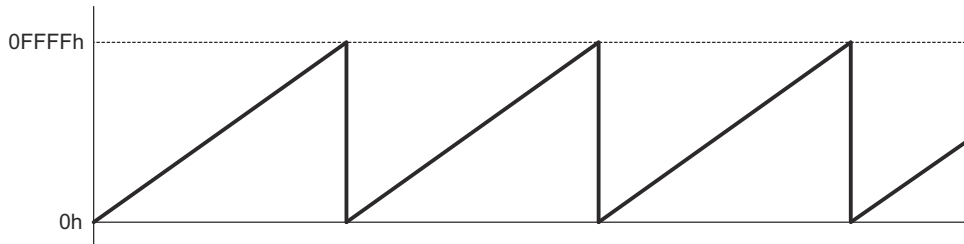


图 12-4. 连续模式

当计时器从 0FFFFh 计数到零时，设置 TAIFG 中断标志。图 12-5 显示了标志置 1 周期。

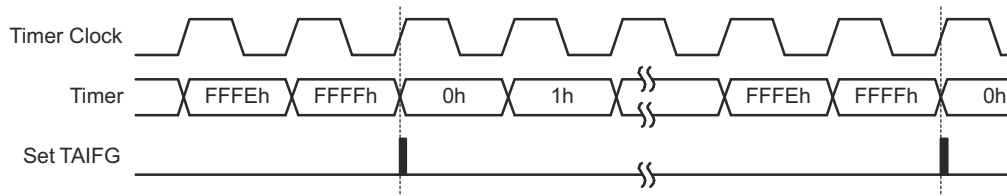


图 12-5. 连续模式标志的置 1

12.2.3.4 连续模式的使用

连续模式可以用于产生独立的时间间隔和输出频率。每次一个间隔完成时，就会产生一个中断。下一个时间间隔被添加到中断服务例程的 TACCRx 寄存器中。图 12-6 展示了 2 个独立的时间间隔 t_0 和 t_1 正被添加至捕获/比较寄存器。在该应用中，时间间隔被硬件控，而不是软件，对中断延迟无影响。使用全部三个捕捉/比较寄存器最多可以生成三个独立的时间间隔或输出频率。

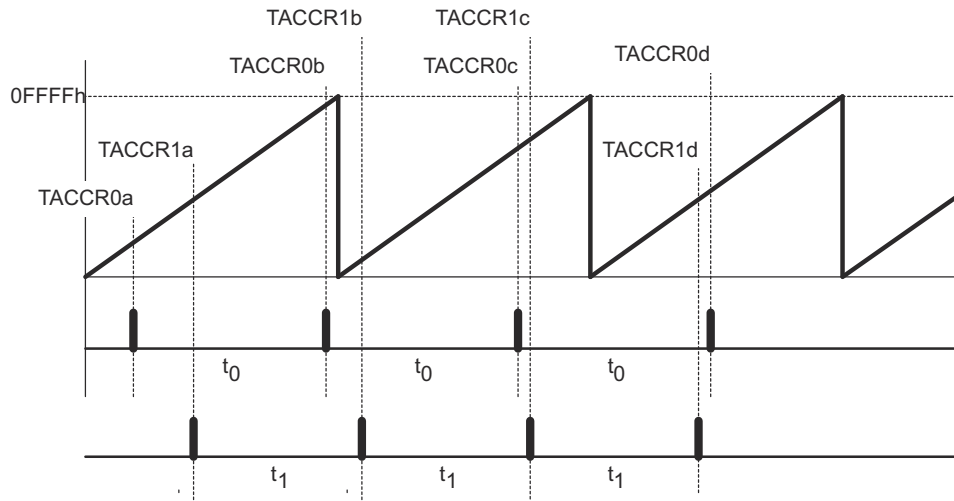


图 12-6. 连续模式时间间隔

也可以在其他模式下产生时间间隔，其中 TACCR0 用作周期寄存器。其处理更加复杂，因为旧 TACCRx 数据和新周期的总和比 TACCR0 值大。当前一个 TACCRx 值加上 t_x 大于 TACCR0 数据时，必须减去 TACCR0 + 1 才能获得正确的时间间隔。

12.2.3.5 向上/向下计数模式

如果计时器周期必须不同于 0FFFFh 计数，并且需要生成对称脉冲，则使用向上/向下计数模式。计时器重复向上计数到比较寄存器 TACCR0 的值，再向下计数到零，如图 12-7 所示。周期是 TACCR0 中值的两倍。

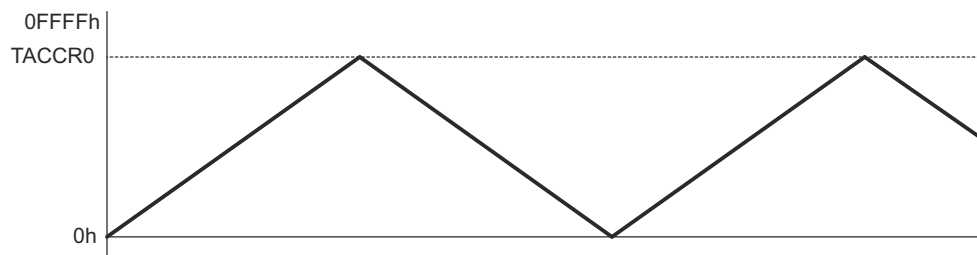


图 12-7. 上数/下数模式

计数方向是锁定的。这就使得定时器停止后再能在停止前以相同的方向重新启动计数。如果不需要这些，那么必须先将 TACLRL 置位以清零方向。TACLRL 位也会清除 TAR 值和计时器时钟分频器。

在向上/向下计数模式下，TACCR0 CCIFG 中断标志和 TAIFG 中断标志在一个周期内只设置一次，间隔 1/2 的计时器周期。当计时器从 TACCR0 - 1 计数到 TACCR0 时，会设置 TACCR0 CCIFG 中断标志，当计时器从 0001h 向下计数到 0000h 时，会设置 TAIFG。图 12-8 说明了标志置 1 周期。

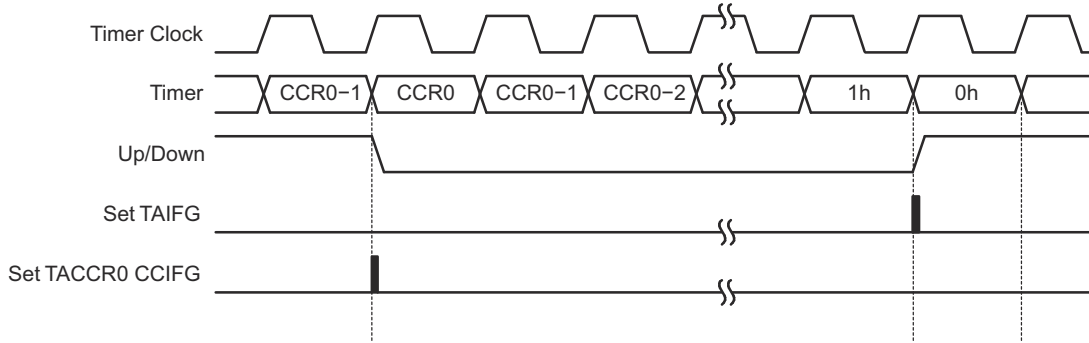


图 12-8. 增/减模式标志的置 1

12.2.3.6 更改周期寄存器 TACCR0

在计时器运行的同时更改 TACCR0 并向计数时，计时器会继续向下计数，直到为零。TACCR0 中的值立即锁存到 TACLO 中，但新周期在计数器向下计数到零后生效。

当计时器向上计数，并且新周期大于或等于旧周期，或大于当前计数值时，计时器在向下计数之前向上计数到新周期。当计时器向上计数，并且新周期小于当前计数值时，计时器开始向下计数。但是，定时器在开始递减计数之前会额外进行一次计数。

12.2.3.7 增/减模式的使用

向上/向下计数模式支持需要在输出信号之间插入死区时间的应用（请参阅 *Timer_A 输出单元* 一节）。例如，为避免出现过载情况，2 个输出驱动一个 H 桥绝不能同时处于一个高状态。在图 12-9 该 $t_{\text{空载}}$ 给出的例子是；

$$t_{\text{dead}} = t_{\text{timer}} (\text{TACCR1} - \text{TACCR2})$$

其中，

$t_{\text{空载}}$ = 在此期间的两个输出需要处于非活动状态

$t_{\text{定时器}}$ = 定时器时钟周期时间

TACCRx = 捕捉/比较寄存器 x 的内容

TACCRx 寄存器不被缓冲。当被写入后，它们立即更新。因此，任何所需的死区时间都不会自动保持。

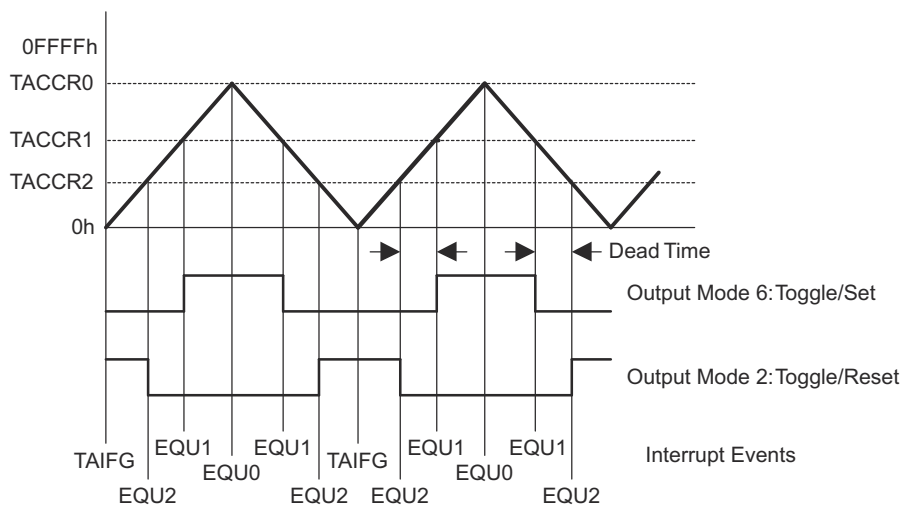


图 12-9. 增/减模式的输出单元

12.2.4 捕捉/比较区块

定时器_A 中有 2 个或 3 个相同的捕捉/比较模块 TACCRx。这些块中的任何一个都可用于捕获计时器数据或生成时间间隔。

捕捉模式

当 CAP = 1 时会选择捕捉模式。捕捉模式用于记录时间事件。它可用于快速估计或时间测量。捕获输入 CCIxA 和 CCIxB 被连接到一个外部引脚上或内部信号上，这通过 CCISx 位选择。CMx 位选择捕获输入信号的边沿如上升，下降，或两者兼而有之。一个捕获发生在已选输入信号的边沿。如果发生捕获：

- 定时器的值被复制仅 TACCRx 寄存器
- 中断标志 CCIFG 被置位。

在任何时刻，可以通过 CCI 位读取输入信号的电平。MSP430x2xx 系列的器件可能会有被连接到 CCIxA 和 CCIxB 的不同信号。对于这些信号的连接，请参阅《器件专用数据表》。

捕获信号可能会和定时器时钟异步，并导致一个竞争条件的发生。置位 SCS 位可以在下个定时器时钟使捕获同步。建议置位 SCS 位来使定时器时钟与捕获同步。在图 12-10 给出了有关这的图例说明。

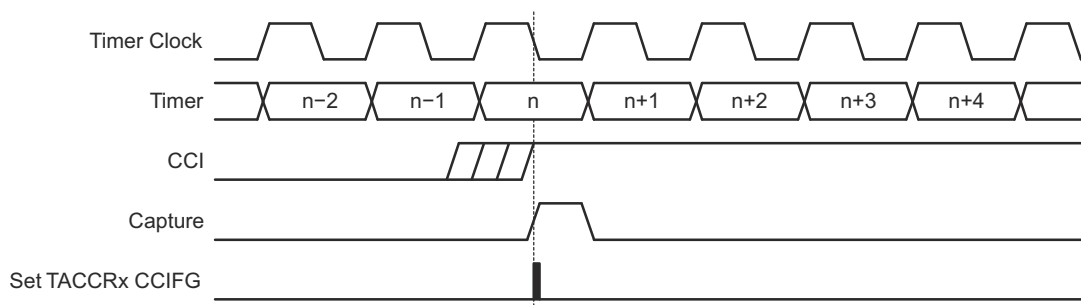


图 12-10. 捕获信号 (SCS = 1)

为了显示是否一个二次捕捉在第一次捕捉的值被读取之前发生，在每个捕捉/比较寄存器中就会提供一个溢出逻辑。如在图 12-11 中所示，当这种情况发生时，位 COV 被置 1。COV 位必须由软件复位。

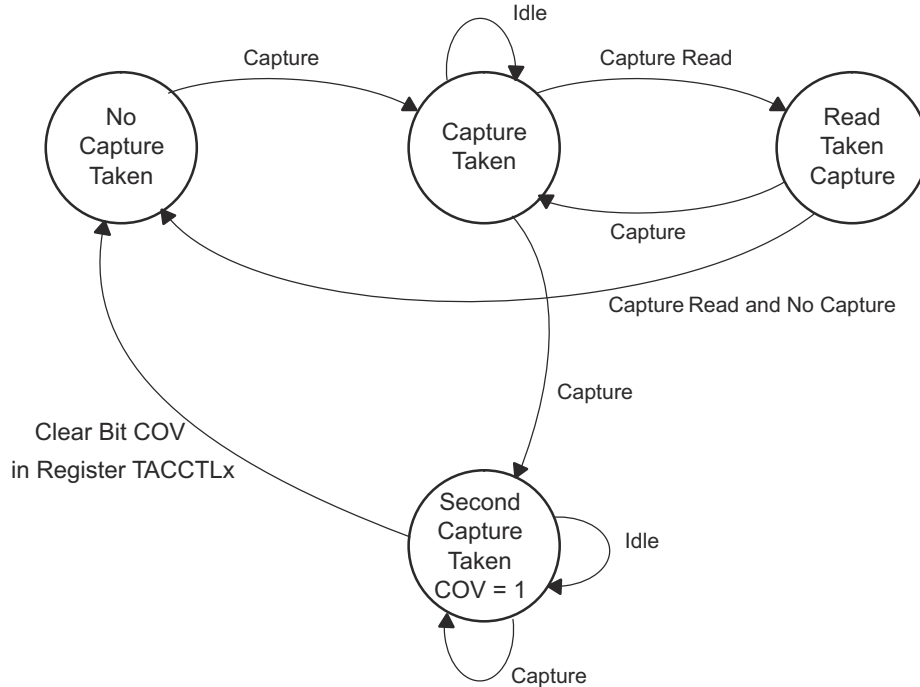


图 12-11. 捕捉循环

12.2.4.1 通过软件初始化捕捉

可通过软件初始化捕捉。CMx 位可以配置捕获的两个边沿。然后，软件设置 CCIS1=1 和切换位 CCIS0 来切换在 VCC 和 GND 之间的捕捉信号，每次 CCIS0 改变状态时，都要初始化捕捉：

```

MOV    #CAP+SCS+CCIS1+CM_3,&TACCTLx ; Setup TACCTLx
XOR    #CCIS0,&TACCTLx             ; TACCRx = TAR
    
```

12.2.4.2 比较模式

当 CAP = 0 时选用比较模式。比较模式被用于产生 PWM 输出信号或在特定的时间间隔上产生中断。当 TAR 计数到 TACCRx 中的值时：

- 中断标志 CCIFG 被置位
- 内部信号 EQUx=1
- EQUx 根据输出模式来影响输出信号
- 输入信号 CCI 锁存到 SCCI

12.2.5 输出单元

每个捕捉/比较块包含一个输出单元。输出单元用于产生如 PWM 这样的信号。每个输出单元有 8 种可以根据 EQU0 和 EQUx 信号产生信号的操作模式。

12.2.5.1 输出模式

输出模式由 OUTMODx 位来确定，如表 12-2 在中所述。对于除模式 0 之外的所有模式，OUTx 信号随计时器时钟的上升沿而变化。输出模式 2、3、6 和 7 不能用于输出单元 0，因为 EQUx = EQU0。

表 12-2. 输出模式

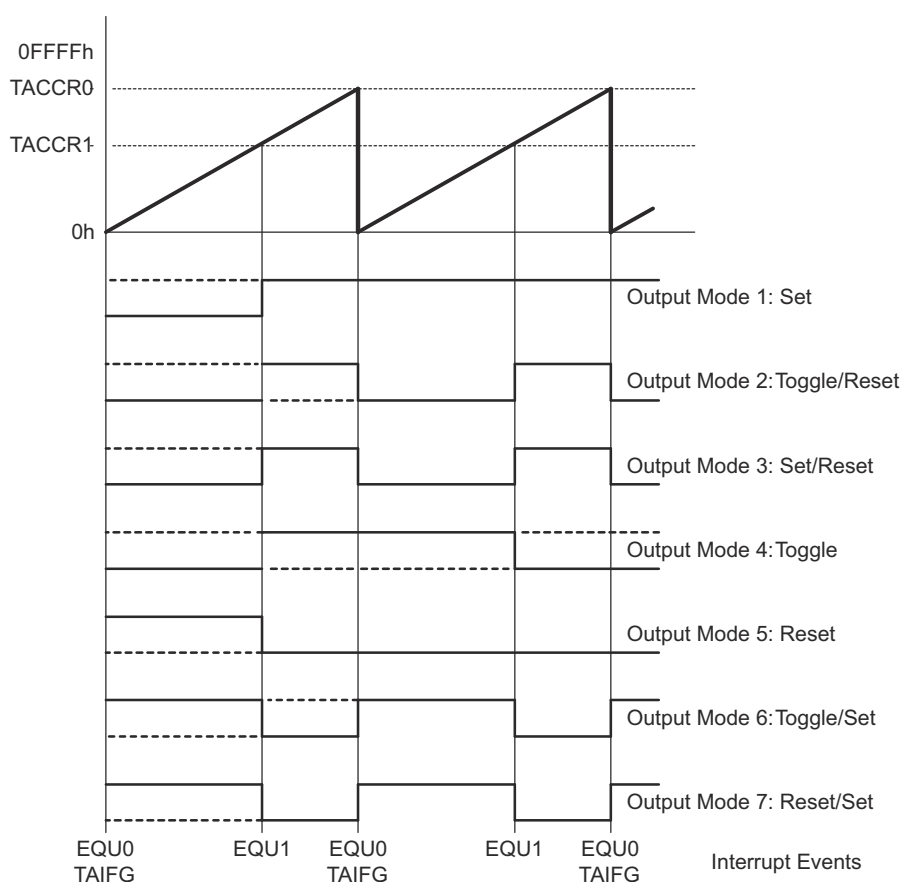
OUTMODx	模式	说明
000	输出	输出信号 OUTx 由 OUTx 位定义。当 OUTx 位更新时，OUTx 信号会立刻更新。
001	置位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被置位。它保持置 1 直到一个定时器复位，或直到选择另一个输出模式并影响该输出。

表 12-2. 输出模式 (continued)

OUTMODx	模式	说明
010	切换/复位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被切换。当定时器计数到 TACCR0 值时，输出被复位。
011	置位/复位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被置位。当定时器计数到 TACCR0 值时，输出被复位。
100	切换	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被切换。输出周期为双定时器周期。
101	复位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被复位。直到另一个输出模式被选择时且影响输出时，它才不保持复位状态。
110	切换/置位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被切换。当定时器计数到 TACCR0 值时，输出被置位。
111	复位/置位	当定时器计数到 TACCRx 值时，输出被复位。当定时器计数到 TACCR0 值时，输出被置位。

12.2.5.2 输出示例 - 向上计数模式下的定时器

当定时器向上计数到 TACCRx 值并从 TACCR0 滚动到零时，OUTx 信号发生变化，具体取决于输出模式。在图 12-12 展示了一个使用了 TACCR0 和 TACCR1 的例子。


图 12-12. 输出示例 - 向上计数模式下的定时器

12.2.5.3 输出示例 - 连续模式下的定时器

当定时器达到 TACCRx 和 TACCR0 值时，OUTx 信号发生变化，具体取决于输出模式。在图 12-13 中显示了一个使用了 TACCR0 和 TACCR1 的例子。

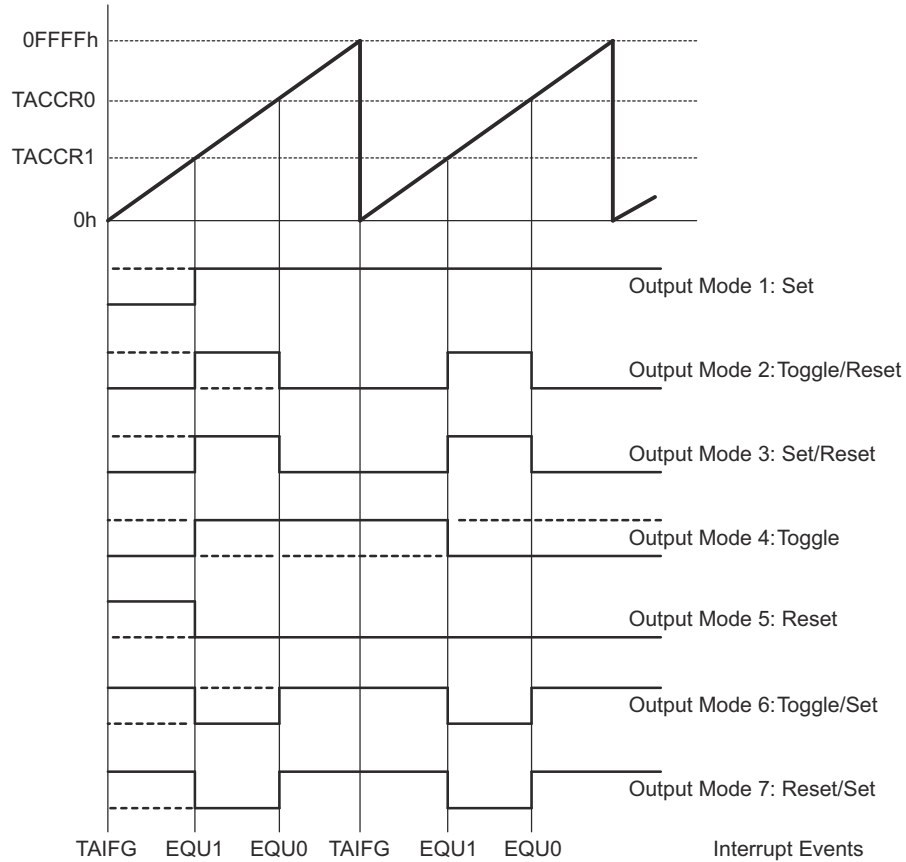


图 12-13. 输出示例 - 连续模式下的计时器

12.2.5.4 输出示例 - 向上/向下计数模式下的计时器

当计时器在任一计数方向上等于 TACCRx 以及当计时器等于 TACCR0 时，OUTx 信号会发生变化，具体取决于输出模式。在图 12-14 中显示了一个使用了 TACCR0 和 TACCR2 的例子。

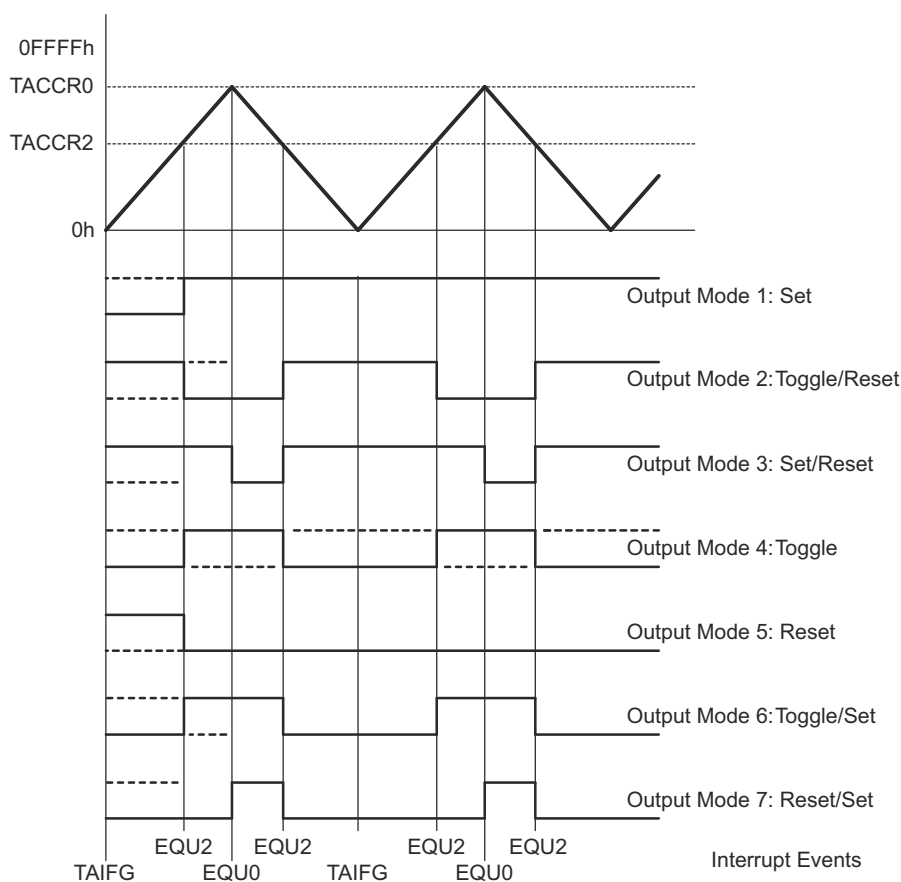


图 12-14. 输出示例 - 向上/向下计数模式下的计时器

备注

在输出模式之间切换

在输出模式之间切换时，除非切换到模式 0，否则 OUTMODx 位之一应在转换期间保持置位。否则，由于或非门解码输出模式 0，可能会发生输出干扰。在输出模式之间安全切换的一个方法是用输出模式 7 作为一个过度状态：

```
BIS #OUTMOD_7,&TACCTLx ; Set output mode=7
BIC #OUTMODx, &TACCTLx ; Clear unwanted bits
```


12.2.6 定时器_A 中断

16 位定时器_A 和 2 个中断向量相关联：

- TACCR0 CCIFG 的 TACCR0 中断向量
- 所有的其他 CCIFG 标志和 TAIFG 的 TAIV 中断向量

在捕捉模式下，当在相关的 TACCRx 寄存器中捕捉到计时器值时，会设置任何 CCIFG 标志。在比较模式下，如果 TAR 计数到相应的 TACCRx 值时，CCIFG 标志被置位。软件也可以置 1 或清零任何 CCIFG 标志。当它们相应的 CCIE 位和 GIE 位被置 1 时，所有 CCIFG 标志就会要求产生一个中断。

12.2.6.1 TACCR0 中断

TACCR0 CCIFG 标志位具有最高的 Timer_A 中断优先级，并具有专用中断向量，如图 12-15 所示。为 TACCR0 中断请求提供服务后，TACCR0 CCIFG 标志会自动复位。

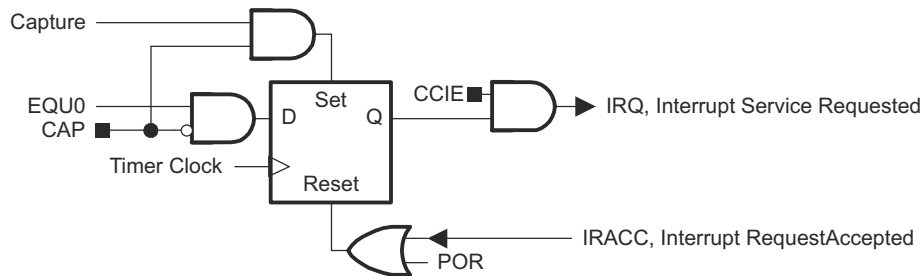


图 12-15. 捕捉/比较 TACCR0 中断标志

12.2.6.2 TAIV，中断向量发生器

TACCR1 CCIFG、TACCR2 CCIFG 和 TAIFG 标志经过优先级排序和组合，生成单个中断向量。中断向量寄存器 TAIV 用于确定哪个标志请求了中断。

具有最高优先级的中断会在 TAIV 寄存器中生成一个数字（请参阅寄存器说明）。可评估该数字或将其添加到程序计数器，以便自动进入相应的软件程序。禁用 Timer_A 中断不会影响 TAIV 值。

对 TAIV 寄存器的任何访问（读取或写入）都会自动将最高挂起中断标志复位。如果有另一个中断标志置 1，则在处理完最初的中断后会立即产生另一个中断。例如，如果在中断服务例程访问 TAIV 寄存器时设置了 TACCR1 和 TACCR2 CCIFG 标志，则 TACCR1 CCIFG 会自动复位。中断服务例程的 RETI 指令执行后，TACCR2 CCIFG 标志将生成另一个中断。

12.2.6.3 TAIV 软件举例

以下软件示例展示了 TAIV 的建议用法和处理开销。TAIV 值被添加到 PC 中，以自动跳转到相应的例程。

右边距的数字显示了每条指令所需的 CPU 周期。不同中断源的软件开销包括中断延迟时间和从中断返回周期，但不包含处理本身的任务。延迟是：

- 捕捉/比较块 TACCR0 : 11 个周期
- 捕捉/比较模块 TACCR1、TACCR2 : 16 个周期
- 计时器溢出 TAIFG : 14 个周期

```

; Interrupt handler for TACCR0 CCIFG
CCIFG_0_HND
;   ...   ; Start of handler   Interrupt latency   6
;   RETI                                     5
; Interrupt handler for TAIFG, TACCR1 and TACCR2 CCIFG
TA_HND
;   ...   ; Interrupt latency   6
;   ADD    &TAIV,PC   ; Add offset to Jump table   3
;   RETI                                     ; Vector 0: No interrupt   5
;   JMP    CCIFG_1_HND ; Vector 2: TACCR1   2
;   JMP    CCIFG_2_HND ; Vector 4: TACCR2   2
;   RETI                                     ; Vector 6: Reserved   5
;   RETI                                     ; Vector 8: Reserved   5
TAIFG_HND
;   ...   ; Vector 10: TAIFG Flag
;   RETI                                     ; Task starts here
;   RETI                                     5
CCIFG_2_HND
;   ...   ; Vector 4: TACCR2
;   RETI                                     ; Task starts here
;   RETI                                     ; Back to main program   5
CCIFG_1_HND
;   ...   ; Vector 2: TACCR1
;   RETI                                     ; Task starts here
;   RETI                                     ; Back to main program   5
    
```

12.3 Timer_A 寄存器

表 12-3 列出了 Timer_A 的存储器映射寄存器。

表 12-3. Timer_A 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
160h	TACTL	定时器_A 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.2
170h	TAR	定时器_A 计数器	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.3
162h	TACCTL0	定时器_A 捕捉/比较控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.4
172h	TACCR0	定时器_A 捕捉/比较 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.5
164h	TACCTL1	定时器_A 捕捉/比较控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.4
174h	TACCR1	定时器_A 捕捉/比较 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.5
166h	TACCTL2 ⁽¹⁾	定时器_A 捕捉/比较控制 2	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.4
176h	TACCR2 ⁽¹⁾	定时器_A 捕捉/比较 2	读取/写入	POR 后为 00h	节 12.3.5
12Eh	TAIV	定时器_A 中断矢量	读取	POR 后为 00h	节 12.3.6

(1) 具有 Timer_A2 的 MSP430 器件 (例如 MSP430F20xx 和其他器件) 上不存在。

12.3.1 TACTL 寄存器

Timer_A 控制寄存器

图 12-16 展示了 TACTL，表 12-4 中对此进行了介绍。

返回表 12-3。

图 12-16. TACTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
未使用						TASSELx	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
IDx		MCx		未使用	TACLR	TAIE	TAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 12-4. TACTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-10	未使用	R/W	0h	未使用
9-8	TASSELx	R/W	0h	Timer_A 时钟源选择 00b = TACLK 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = INCLK (INCLK 特定于器件，通常分配给反相 TBCLK) (请参阅器件特定数据表)
7-6	IDx	R/W	0h	输入分频。这些位为输入时钟选择分频器。 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
5-4	MCx	R/W	0h	模式控制。不使用 Timer_A 时设置 MCx = 00b，以节省电力。 00b = 停止模式：计时器停止。 01b = 向上计数模式：计时器向上计数到 TACCR0。 10b = 连续模式：计时器向上计数到 0FFFFh。 11b = 向上/向下计数模式：计时器向上计数到 TACCR0，然后向下计数到 0000h。
3	未使用	R/W	0h	未使用
2	TACLR	R/W	0h	Timer_A 清零设置该位会复位 TAR、时钟分频器和计数方向。TACLR 位自动复位并始终读为 0。
1	TAIE	R/W	0h	Timer_A 中断使能。这些位启用 TAIFG 中断请求。 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	TAIFG	R/W	0h	Timer_A 中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

12.3.2 TAR 寄存器

Timer_A 计数器寄存器

图 12-17 展示了 TAR，表 12-5 中对此进行了介绍。

返回表 12-3。

图 12-17. TAR 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TARx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TARx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 12-5. TAR 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TARx	R/W	0h	Timer_A 寄存器。TAR 寄存器包含 Timer_A 的计数。

12.3.3 TACCTLx 寄存器

Timer_A 捕捉/比较控制 x 寄存器

图 12-18 展示了 TACCTLx，表 12-6 中对此进行了介绍。

返回表 12-3。

图 12-18. TACCTLx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
CMx		CCISx		SCS	SCCI	未使用	CAP
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r	r-0	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
OUTMODx			CCIE	CCI	OUT	COV	CCIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 12-6. TACCTLx 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	CMx	R/W	0h	捕捉模式 00b = 无捕捉 01b = 在上升沿的捕捉 10b = 在下降沿的捕捉 11b = 在上升和下降沿都捕捉
13-12	CCISx	R/W	0h	捕捉/比较输入选择。这些位选择 TACCRx 输入信号。有关特定信号连接的信息，请参见具体器件的数据表。 00b = CCIxA 01b = CCIxB 10b = GND 11b = V _{CC}
11	SCS	R/W	0h	同步捕捉源。此位是用来同步定时器时钟与捕捉输入信号的。 0b = 异步捕捉 1b = 同步捕捉
10	SCCI	R	0h	同步捕捉/比较输入选择的 CCI 输入信号与 EQUx 信号一起锁存，可通过该位进行读取
9	未使用	R	0h	只读。始终读为 0。
8 个	CAP	R/W	0h	捕捉模式 0b = 比较模式 1b = 捕捉模式
7-5	OUTMODx	R/W	0h	输出模式。模式 2、3、6 和 7 不能用于 TACCR0，因为 EQUx = EQU0。 000b = OUT 位的值 001b = 置 1 010b = 触发/复位 011b = 置 1/复位 100b = 触发 101b = 复位 110b = 触发/置 1 111b = 复位/置 1

表 12-6. TACCTLx 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
4	CCIE	R/W	0h	捕捉/比较中断使能。该位使能相应 CCIFG 标志的中断请求。 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
3	CCI	R	0h	捕捉/比较输入。所选输入信号可以由该位读出。
2	OUT	R/W	0h	输出。对于输出模式 0，该位直接控制输出的状态。 0b = 输出低电平 1b = 输出高电平
1	COV	R/W	0h	捕捉溢出。该位表示一个已发生的捕捉溢出。COV 位必须由软件复位。 0b = 未发生捕捉溢出 1b = 捕捉溢出发生
0	CCIFG	R/W	0h	捕捉/比较中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

12.3.4 TACCRx 寄存器

Timer_A 捕捉/比较 x 寄存器

图 12-19 展示了 TACCRx，表 12-7 中对此进行了介绍。

返回表 12-3。

图 12-19. TACCRx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TACCRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TACCRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 12-7. TACCRx 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TACCRx	R/W	0h	Timer_A 捕捉/比较寄存器。 比较模式：TACCRx 保存用于与 Timer_A 寄存器 TAR 中的计时器值进行比较的数据。 捕捉模式：执行捕捉时，Timer_A 寄存器 TAR 被复制到 TACCRx 寄存器中。

12.3.5 TAIV 寄存器

定时器_A 中断矢量

图 12-20 展示了 TAIV，表 12-8 中对此进行了介绍。

返回表 12-3。

图 12-20. TAIV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TAIVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TAIVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r-0

表 12-8. TAIV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TAIVx	R	0h	Timer_A 中断向量值。请参阅表 12-9 以了解值。

表 12-9. Timer_A 中断向量

TAIV 内容	中断源	中断标志	中断优先级
00h	无中断等待	-	
02h	捕捉/比较 1	TACCR1 CCIFG	最高：
04h	捕捉/比较 2 ⁽¹⁾	TACCR2 CCIFG	
06h	保留	-	
08h	保留	-	
0Ah	定时器溢出	TAIFG	
0Ch	保留	-	
0Eh	保留	-	最低

(1) 未在 MSP430x20xx 器件中实现。

This page intentionally left blank.



定时器_B 是一个带有多个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器/计数器。本章主要讲述了 MSP430x2xx 器件系列定时器_B 的操作。

13.1 定时器_B 的介绍.....	396
13.2 Timer_B 的操作.....	398
13.3 Timer_B 的寄存器.....	411

13.1 定时器_B 的介绍

定时器_B 是一个带有 3 个或 7 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器/计数器。定时器_B 能支持多个捕获/比较寄存器，PWM 输出和间隔定时。Timer_B 也具有扩展的中断功能。计数器在溢出发生时可生成中断而每个捕获/比较寄存器也可生成中断。

定时器_B 的特性包括：

- 4 种操作模式和 4 个可选长度的异步 16 位定时器/计数器
- 可选和可配置的时钟源
- 3 个或 7 个可配置的捕获/比较寄存器
- 具有 PWM 功能的可配置输出
- 加载同步的双缓冲比较锁存器
- 对所有 Timer_B 中断快速响应的中断向量寄存器

在图 13-1 中给出了 Timer_B 的方框图。

备注

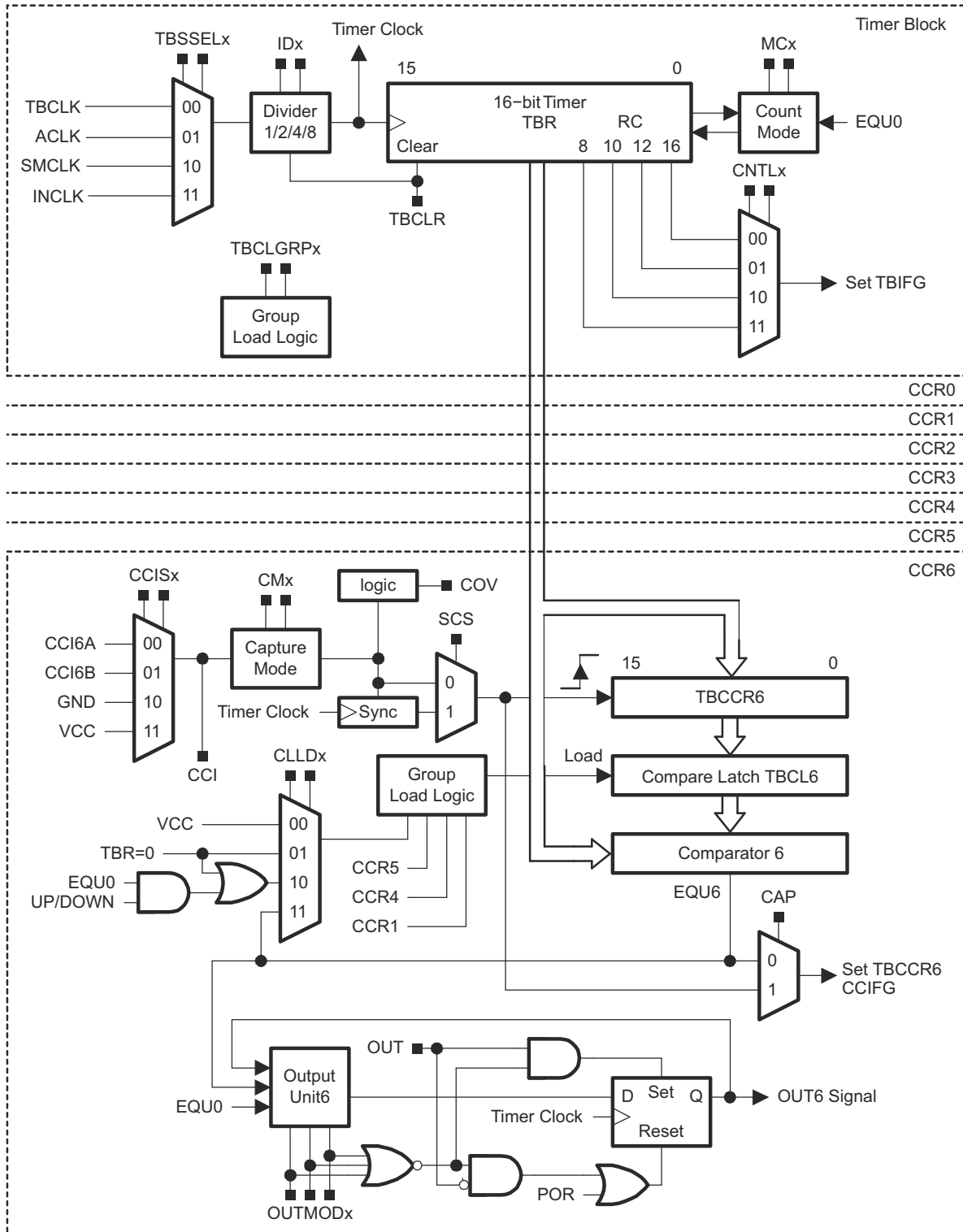
使用字 计数

本章中使用了计数。这意味着计数器必须在在计数动作的过程中计数。如果一个特定的值被直接写入计数器，那么相应的操作就不会发生。

13.1.1 与定时器_A 的相似和不同之处

除了下列情况外，Timer_B 与定时器_A 都相同：

- 定时器_B 的可被编程到 8，10，12，或 16 位。
- 定时器_B 的 TBCCR_x 寄存器是双缓冲的，且可以被集合。
- 所有的定时器_B 都可以被放入一个高阻抗状态。
- 在 Timer_B 上未执行 SCCI 位的功能。



A. INCLK 是器件特定的，通常被分配给反相的 TBCLK，请参阅《特定器件数据手册》。

图 13-1. Timer_B 的方框图

13.2 Timer_B 的操作

Timer_B 的模块由用户软件进行配置。Timer_B 的设置和操作将在下面的章节讨论。

13.2.1 16 位定时器计数器

16 位定时器/计数器寄存器，TBR，随着时钟信号的每个上升沿增/减（由操作模式决定）。TBR 可以由软件进行读取或写入。此外，定时器溢出时，它可以产生一个中断。

可通过设置 TBCLR 位来清除 TBR。设置 TBCLR 也会清除时钟分频器和针对上数/下数的计数方向。

备注

修改 Timer_B 寄存器

为了避免产生错误的操作状况，建议在修改定时器的操作（中断使能、中断标志，和 TBCLR 除外）前先停止定时器。

当定时器时钟和 CPU 时钟异步时，任何对 TBR 的读取会由于定时器未运行而导致所读的结果是不可预测的。因此，当定时器运行时，需要多读几次，通过软件多数表决来确定正确的读数。对 TBR 的写入操作是立即生效的。

13.2.1.1 TBR 的长度

定时器_B 可以通过 CNTLx 位将它配置为 8, 10, 12 或 16 位定时器。最大的计数数值，TBR_(最大)，可选长度可分别为 0FFh, 03FFh, 0FFFh, 和 0FFFFh。在 8, 10, 和 12 位模式下，写入 TBR 寄存器中的数据是右对齐，带前导零。

13.2.1.2 时钟源选择和分频器

定时器的时钟源可以是 ACLK, SMCLK, 或外部通过 TBCLK 和 INCLK (INCLK 是特定于器件的，通常被分配给反相 TBCLK, 请参见《器件专用数据表》)。时钟源由 TBSSELx 位来选择。所选择的时钟源可以直接被传递给计时器或通过使用 IDx 位进行 2, 4 或 8 分频。当 TBCLR 被置位时，时钟分频器复位。

13.2.2 启动定时器

定时器可以通过以下方式启动或重新启动：

- 当 MCX>0 时，定时器计数到并且时钟源处于活动状态时。
- 当定时器模式为增/减模式时，定时器可以通过把 0 载入 TBCL0 来停止计数。之后定时器可以通过把一个非 0 的数值载入 TBCL0 来重新开始计数。在这种情况下，计时器开始以增加的方向从零递增。

13.2.3 定时器模式控制

定时器有 4 种操作模式，见表 13-1：停止、增、连续和增/减。操作模式由 MCx 位来选择。

表 13-1. 定时器模式

MCx	模式	说明
00	停止	该定时器暂停。
01	向上	定时器循环地从 0 增到比较寄存器 TBCL0 的值。
10	连续	定时器循环地从 0 连续增加到由 CNTLx 位选择的值。
11	增/减	定时器循环地从 0 增到 TBCL0 的值再连续减至 0。

13.2.3.1 增模式

用于如果计数周期不同于 TBR_(最大) 计数，则使用增模式。定时器重复递增计数比较锁存器 TBCL0 的值，该值定义了周期，如在图 13-2 中所示。在此期间的定时器计数的值是 TBCL0+1。当定时器的值等于 TBCL0 时，定时器就回到 0 重新开始计数。当定时器的值大于 TBCL0 时，如果选择增模式，定时器立即从 0 重新开始计数。

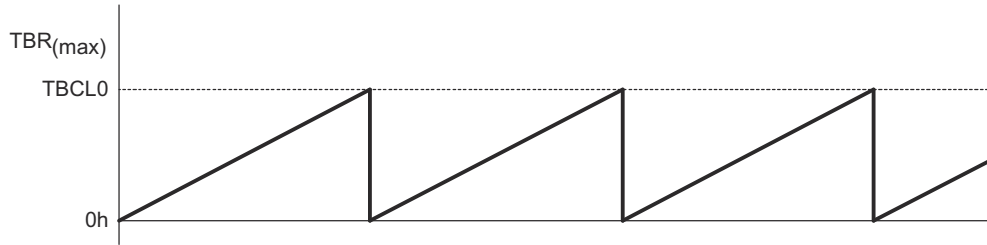


图 13-2. 增模式

当定时器计数到 TBCL0 值时，TBCCR0 CCIFG 中断标志被置位。当定时器从 TBCL0 计数到零时，设置 TBIFG 中断标志。图 13-3 说明了标志置 1 周期。

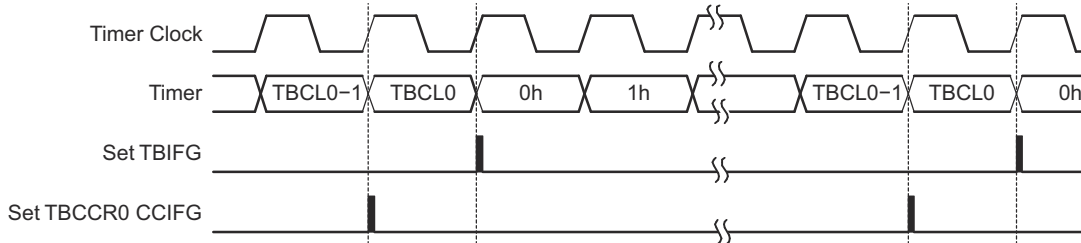


图 13-3. 增模式标志的置 1

13.2.3.2 更改周期寄存器 TBCL0

当在定时器运行时修改 TBCL0，并且 TBCL0 加载事件为立即时，CLLD0=00，如果新的周期大于或等于旧的周期，或大于当前计数值，那么定时器就会计数至新的周期。如果新周期小于当前的计数值，那么定时器回到 0。但是，在计数器回到 0 之前会多出一个额外的计数。

13.2.3.3 连续模式

在连续模式中，定时器重复计数增到 TBR_(最大) 然后重新从 0 开始增计数，如在图 13-4 中所示。比较寄存器 TBCL0 与其他捕获/比较寄存器的工作方式一样。

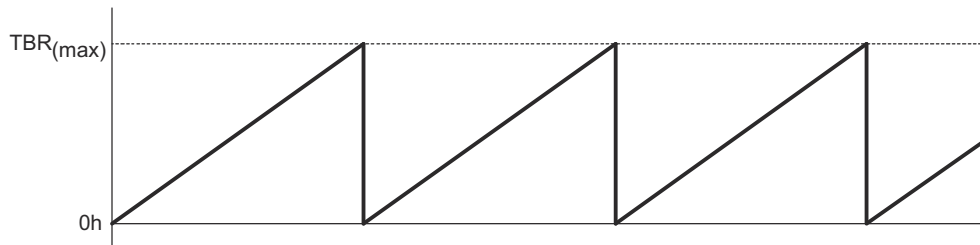


图 13-4. 连续模式

当定时器从 TBR_(max) 计数到零时，设置 TBIFG 中断标志。图 13-5 显示了标志置 1 周期。

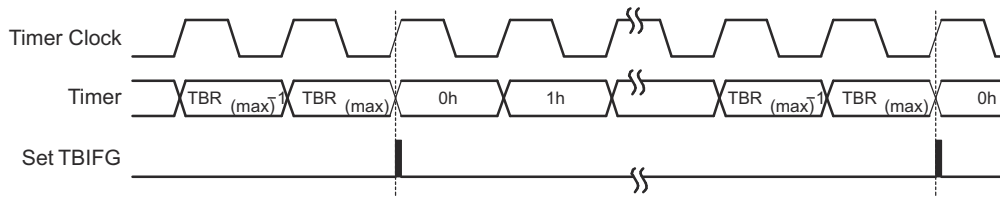


图 13-5. 连续模式标志的置 1

13.2.3.4 连续模式的使用

连续模式可以用于产生独立的时间间隔和输出频率。每次一个间隔完成时，就会产生一个中断。下一个时间间隔被添加到中断服务例程的 TBCLx 锁存器中。图 13-6 显示了 2 个独立的时间间隔 t_0 和 t_1 正被添加至捕获/比较寄存器。该时间间隔由硬件控制，而不是软件，不受中断延迟的影响。多达 3 个 (定时器_B3) 或 7 个 (定时器_B7) 独立的时间间隔或输出频率可以通过使用捕获/比较寄存器生成。

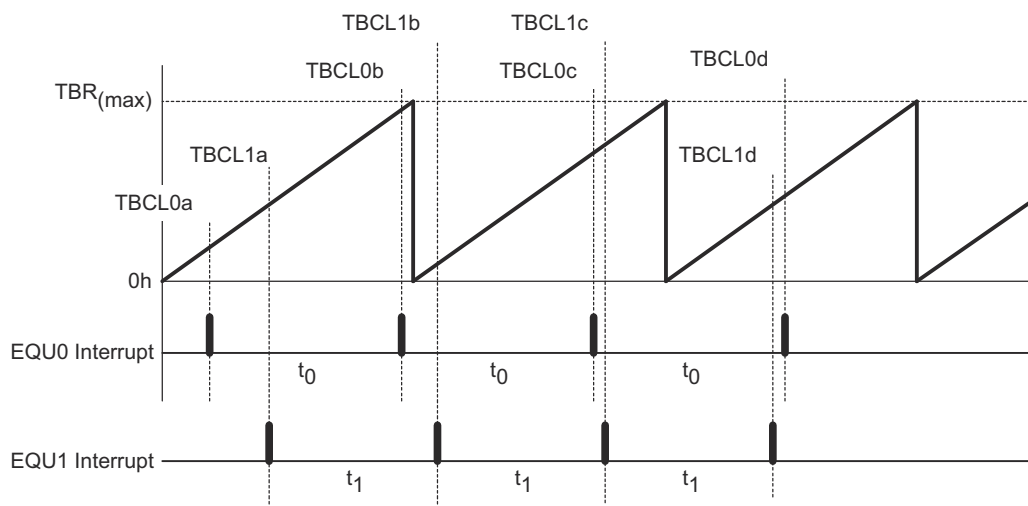


图 13-6. 连续模式时间间隔

时间间隔也可以由其他模式产生，在此 TBCL0 也可以被用作周期寄存器。由于旧的 TBCLx 数据之和新周期的总和比 TBCL0 值大，所以操作就复杂得多。当前一个 TBCLx 值加上 t_x 比 TBCL0 数据大时，那么为了获得正确的时间间隔，必须减去 $TBCL0+1$ 。

13.2.3.5 增/减模式

如果定时器周期肯定不会与 $TBR_{(最大)}$ 计数相同，且需要产生对称的脉冲时，才会使用增/减模式。定时器重复递增计数比较锁存器 TBCL0 的值，之后再减至 0，如在图 13-7 中所示。该周期是 TBCL0 值的 2 倍。

备注

TBCL0 > TBR (最大)

如果 $TBCL0 > TBR_{(最大)}$ ，那么计数操作就和连续模式的配置一样。不会从 $TBR_{(最大)}$ 减到 0。

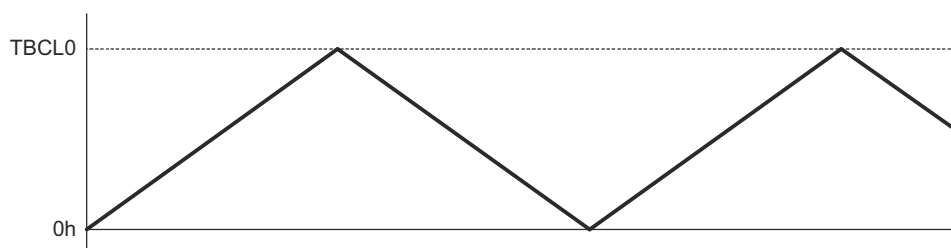


图 13-7. 增/减模式

计数方向是锁定的。这就使得定时器停止后再能在停止前以相同的方向重新启动计数。如果不想这样的话，就需要用 TBCLR 位来清零方向。TBCLR 位也会清零 TBR 值和时钟分频。

在增减模式中，TBCCR0 CCIFG 中断标志和 TBIFG 中断标志在该周期中只被置位一次，它们相隔 1/2 个定时器周期。当计时器从 $TBCL0-1$ 计数到 TBCL0 时，会设置 TBCCR0 CCIFG 中断标志，当计时器从 0001h 向下计数到 0000h 时，会设置 TBIFG。图 13-8 说明了标志置 1 周期。

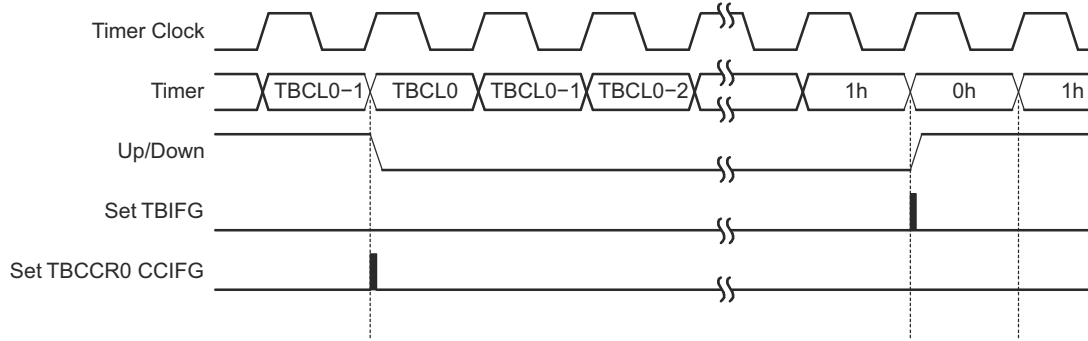


图 13-8. 增/模式标志的置 1

13.2.3.6 改变周期寄存器 TBCL0 的值

如果在定时器正在计数，且以减的方向计数时改变 TBCL0，且当 TBCL0 加载事件为立即的时，定时器会继续下降直至减至 0。新的周期在减到 0 后开始。TBCCR0 中的值被立即锁存到 TBCL0 中；然而，在计数器计数下降至 0 之后，新周期生效。

如果定时器正以增的方向计数，并且当新的周期已经锁存到 TBCL0 中时，且新的周期大于或等于旧的周期，或比当前计数值大，定时器会在减计数之前增计数到新的周期。如果定时器正以增的方向计数，且当载入 TBCL0 时新周期小于当前计数值，定时器会开始减计数。但是，在计数器开始减计数之前可能会产生一个额外的计数。

13.2.3.7 增/减模式的使用

增/减模式支持在输出信号之间需要死区时间的应用（请参阅《定时器_B 输出单元》小结部分）。例如，为避免出现过载情况，2 个输出驱动一个 H 桥绝不能同时处于一个高状态。在图 13-9 该 $t_{\text{空载}}$ 给出的例子是；

$$t_{\text{dead}} = t_{\text{timer}} \times (\text{TBCL1} - \text{TBCL3})$$

其中，

$t_{\text{空载}}$ = 在此期间的两个输出需要处于非活动状态

$t_{\text{定时器}}$ = 定时器时钟周期时间

TBCLx = 比较锁存器 x 的内容

可以同时加载集合的比较锁存器来保证死区时间。

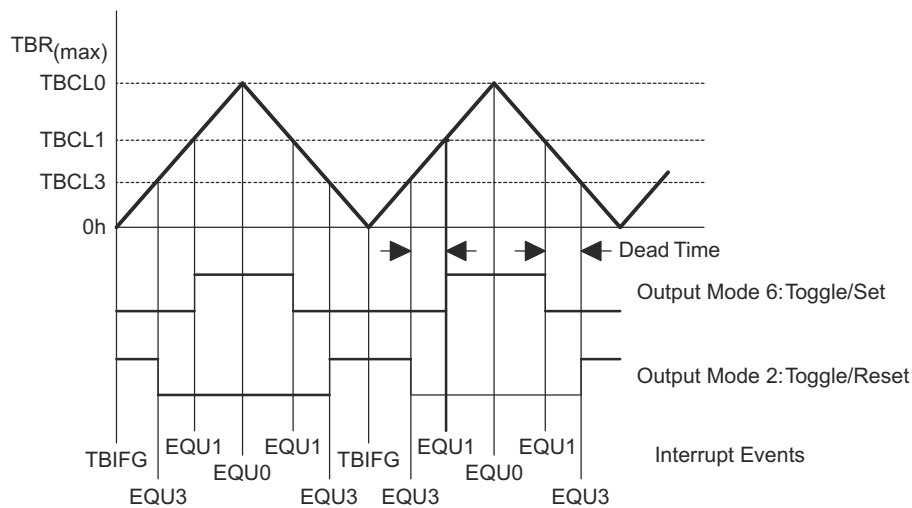


图 13-9. 增/减模式的输出单元

13.2.4 捕捉/比较块

在定时器_B 中有 3 个或 7 个相同的捕捉/比较块，TBCCR_x。这些块中的任一个都可用于捕获定时器数据或生成时间间隔。

13.2.4.1 捕捉模式

当 CAP = 1 时会选择捕捉模式。捕捉模式用于记录时间事件。它可用于快速估计或时间测量。捕获输入 CCI_xA 和 CCI_xB 被连接到一个外部引脚上或内部信号上，这通过 CCIS_x 位选择。CM_x 位选择捕获输入信号的边沿如上升，下降，或两者兼而有之。一个捕获发生在已选输入信号的边沿。如果执行了一个捕获：

- 定时器的值就会被复制到 TBCCR_x 寄存器。
- 中断标志 CCIFG 被置位。

在任何时刻，可以通过 CCI 位读取输入信号的电平。MSP430x2xx 系列的器件可能会有被连接到 CCI_xA 和 CCI_xB 的不同信号。有关这些信号连接的详细信息请参阅《特定器件数据手册》。

捕获信号可能会和定时器时钟异步，并导致一个竞争条件的发生。置位 SCS 位可以在下个定时器时钟使捕获同步。建议置位 SCS 位来使定时器时钟与捕获同步。在图 13-10 给出了有关这的图例说明。

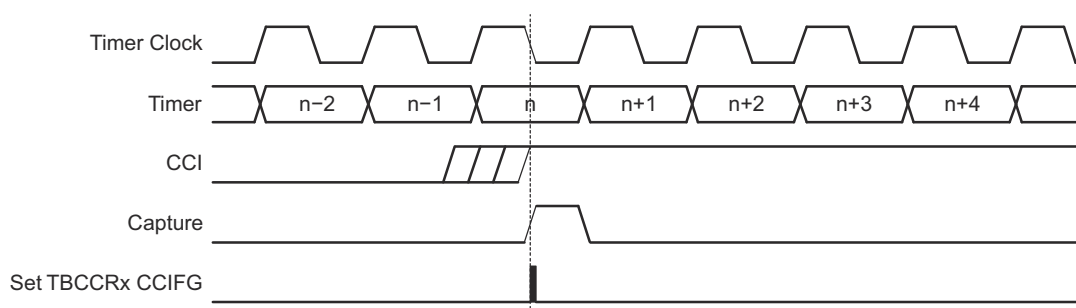


图 13-10. 捕获信号 (SCS = 1)

为了显示是否一个二次捕捉在第一次捕捉的值被读取之前发生，在每个捕捉/比较寄存器中就会提供一个溢出逻辑。如在图 13-11 中所示，当这种情况发生时，位 COV 被置 1。COV 位必须由软件复位。

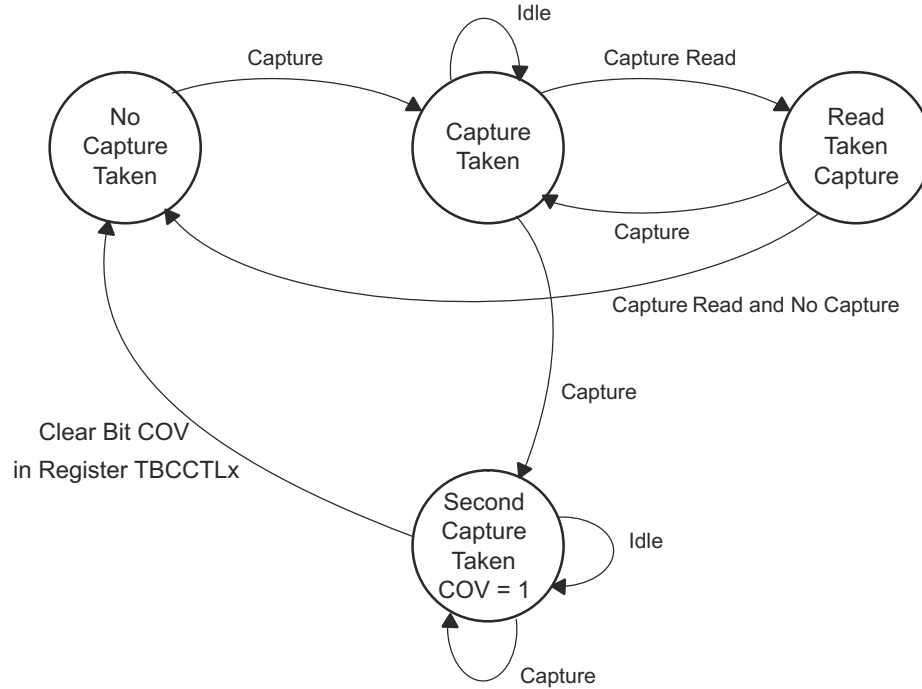


图 13-11. 捕捉循环

13.2.4.1.1 通过软件初始化捕捉

可通过软件初始化捕捉。CMx 位可以配置捕获的两个边沿。之后为了在 V_{CC} 和 GND 之间切换捕获信号，软件会置位位 CCIS1=1 且切换 CCIS0，每当 CCIS0 更改状态时就会初始化一个捕捉：

```

MOV    #CAP+SCS+CCIS1+CM_3, &TBCCTLx ; Setup TBCCTLx
XOR    #CCIS0, &TBCCTLx             ; TBCCTLx = TBR
  
```

13.2.4.2 比较模式

当 CAP = 0 时会选择比较模式。比较模式用于生成 PWM 输出信号或在特定的时间间隔中断。当 TBR 计数到一个 TBCLx 值时：

- 中断标志 CCIFG 被置位。
- 内部信号 EQUx=1
- EQUx 根据输出模式影响输出

13.2.4.2.1 比较锁存器 TBCLx

比较锁存器 TBCLx，在比较模式中为定时器值的比较保持数据。TBCLx 由 TBCCRx 缓冲。当一个比较周期更新时，已缓冲的比较锁存器会为用户提供控制权。用户不能直接访问 TBCLx。比较数据被写入每个 TBCCRx 后自动传递到 TBCLx 中。从 TBCCRx 到 TBCLx 传递的时间是用户可通过 CLLDx 位选择的，如在表 13-2 中所述。

表 13-2. TBCLx 加载事件

CLLDx	说明
00	当 TBCCRx 被写入时，新数据将被立即从 TBCCRx 转移到 TBCLx 中。
01	当 TRB 计数至 0 时，新数据将被从 TBCCRx 转移到 TBCLx 中。
10	当在增和连续模式中 TRB 计数至 0 时，新数据将被从 TBCCRx 转移到 TBCLx 中。当在增/减模式中 TRB 计数至 0 时，新数据将被从 TBCCRx 转移到 TBCLx 中。
11	当 TRB 计数至旧的 TBCLx 值时，新数据将被从 TBCCRx 转移到 TBCLx 中。

13.2.4.2.2 编组比较锁存器

多个比较锁存器可以通过 TBCLGRP_x 位编组，以便于同步更新。当使用编组时，组中序号最小的 TBCCR_x 的 CLLD_x 位决定该组的每个比较锁存器的加载事件，把 TBCLGRP=3 时除外，如在表 13-3 中所示。不得把 CLLD_x 控制的 TBCCR_x 位设置为零。当把 CLLD_x 控制的 TBCCR_x 位设置为零时，所有比较锁存器就会在他们对应的 TBCCR_x 被写入时立即更新；不存在比较锁存器编组。

当编组时，则需要加载的比较锁存器必须存在 2 个条件。第一，即使是 TBCCR_x 数据=原来的 TBCCR_x 数据时，该组的所有 TBCCR_x 寄存器必须也都更新。第二，加载事件必须发生。

表 13-3. 比较锁存器的操作模式

TBCLGRP _x	编组	已更新的控制
00	无	个人
01	TBCL1+TBCL2 TBCL3+TBCL4 TBCL5+TBCL6	TBCCR1 TBCCR3 TBCCR5
10	TBCL1+TBCL2+TBCL3 TBCL4+TBCL5+TBCL6	TBCCR1 TBCCR4
11	TBCL0+TBCL1+TBCL2+TBCL3+TBCL4+TBCL5+TBCL6	TBCCR1

13.2.5 输出单元

每个捕获/比较块包含一个输出单元。输出单元用于产生如 PWM 这样的信号。每个输出单元有 8 种可以根据 EQU0 和 EQUx 信号产生信号的操作模式。TBOUTH 的引脚功能可以用于将所有的定时器_B 输出拉近一个高阻抗状态。当为该引脚选择 TBOUTH 引脚功能时，且当该引脚被上拉时，所有的定时器_B 输出会处于一个高阻抗状态。

13.2.5.1 输出模式

输出模式由 OUTMODx 位来确定，如表 13-4 在中所述。对于除模式 0 之外的所有模式，OUTx 信号随计时器时钟的上升沿而变化。输出模式 2、3、6 和 7 不能用于输出单元 0，因为 EQUx = EQU0。

表 13-4. 输出模式

OUTMODx	模式	说明
000	输出	输出信号 OUTx 由 OUTx 位定义。当 OUTx 位更新时，OUTx 信号会立刻更新。
001	置位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被置位。它保持置位直到一个定时器复位，或直到选择另一个输出模式并影响该输出。
010	切换/复位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被切换。当定时器计数至 TBCL0 值时，它被复位。
011	置位/复位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被置位。当定时器计数至 TBCL0 值时，它被复位。
100	切换	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被切换。输出周期为双定时器周期。
101	复位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被复位。直到另一个输出模式被选择时且影响输出时，它才不保持复位状态。
110	切换/置位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被切换。当定时器计数至 TBCL0 值时，它被置位。
111	复位/置位	当定时器计数到 TBCLx 值时，输出被复位。当定时器计数至 TBCL0 值时，它被置位。

13.2.5.1.1 输出示例，增模式中的定时器

当定时器计数增至 TBCLx 值，且从 TBCL0 降到 0 时，OUTx 信号根据输出模式而改变。在图 13-12 中给出了使用 TBCL0 和 TBCL1 的一个例子。

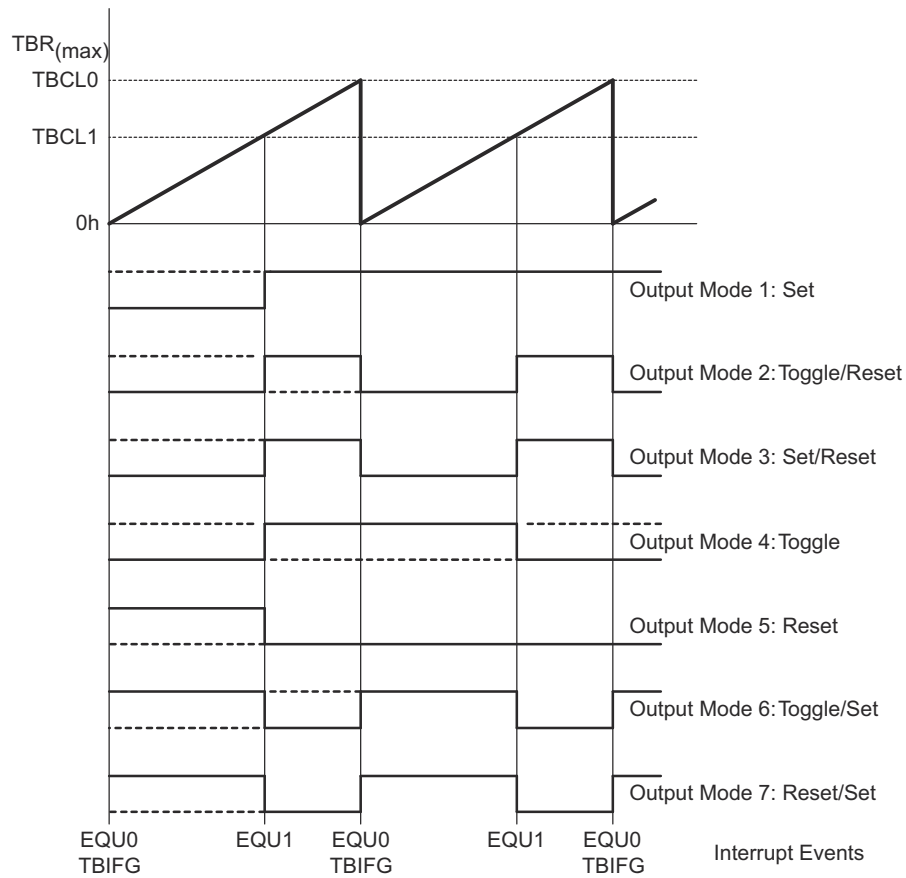


图 13-12. 输出示例，定时器处于增模式

13.2.5.1.2 输出示例，连续模式下的计时器

当定时器达到 TBCLx 和 TBCL0 值时，OUTx 信号根据输出模式而改变，在图 13-13 中给出了使用 TBCL0 和 TBCL1 的一个例子。

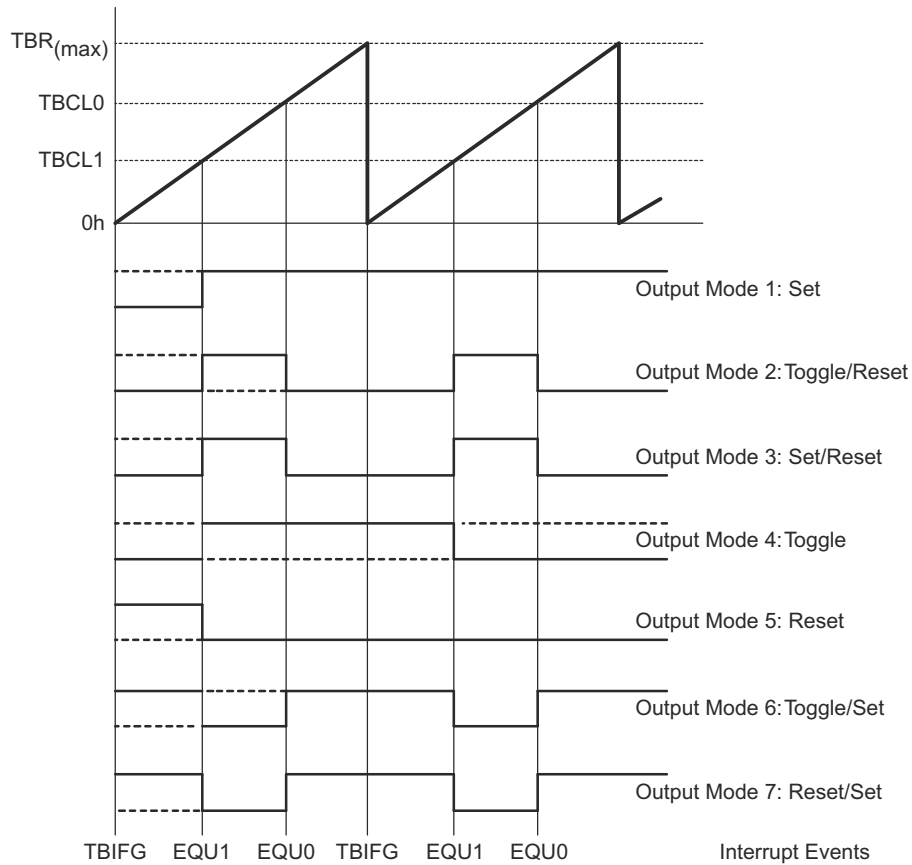


图 13-13. 输出示例，连续模式下的计时器

13.2.5.1.3 输出示例，定时器处于增/减模式

当定时器在任一计数方向上等于 TBCLx 和定时器等于 TBCL0 时，OUTx 信号会根据输出模式而改变。在图 13-14 中给出了使用 TBCL0 和 TBCL1 的一个例子。

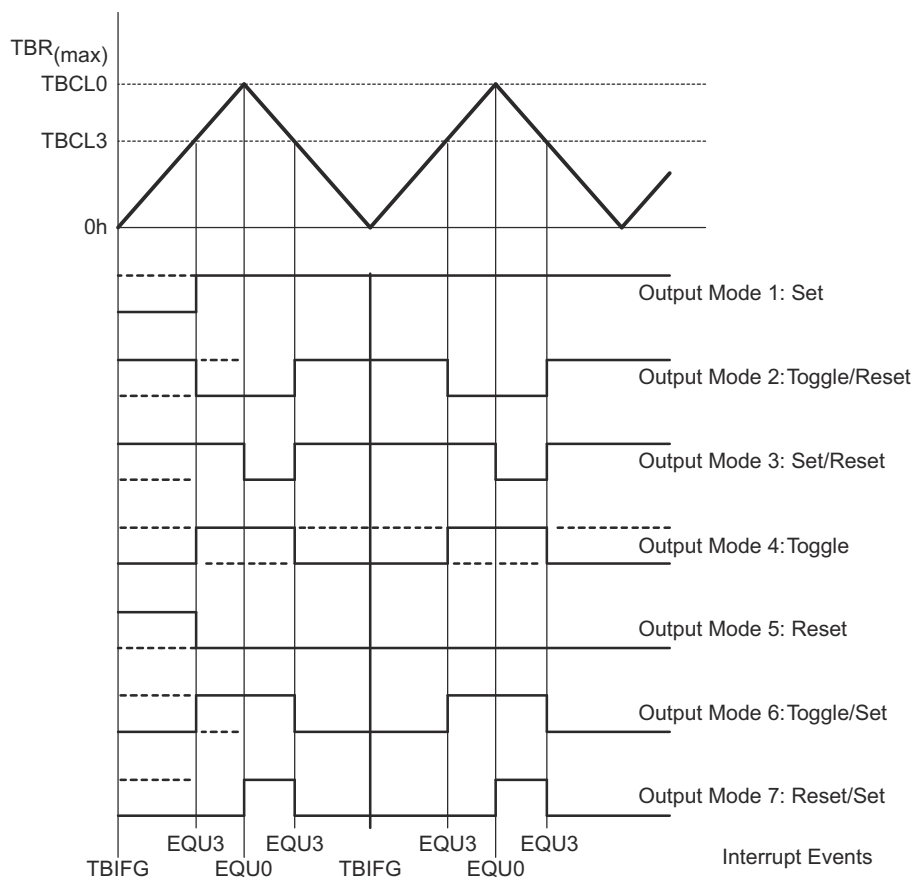


图 13-14. 输出示例，定时器处于增/减模式

备注

在输出模式之间切换

在输出模式之间切换时，除非切换到模式 0，否则 OUTMODx 位之一应在转换期间保持置位。否则，由于 NOR 门解码输出模式 0，可能会发生输出干扰。在输出模式之间安全切换的一个方法是用输出模式 7 作为一个过度状态：

```
BIS #OUTMOD_7,&TBCCTLx ; Set output mode=7
BIC #OUTMODx,&TBCCTLx ; Clear unwanted bits
```


13.2.6 Timer_B 的中断

2 个中断向量与 16 位定时器_B 相关联：

- TBCCR0 CCIFG 的 TBCCR0 中断向量
- 所有其他 CCIFG 标志和 TBIFG 的 TBIV 中断向量

在捕获模式下，当在相应的 TBCCR_x 寄存器中捕获到一个定时器的值时，任何 CCIFG 标志都被置位。在比较模式下，当 TBR 计数至相关的 TBCL_x 值时，任何 CCIFG 标志都被置位。软件也可以置位或清零任何 CCIFG 标志。当它们相应的 CCIE 位和 GIE 位被置 1 时，所有 CCIFG 标志就会要求产生一个中断。

13.2.6.1 TBCCR0 的中断向量

TBCCR0 CCIFG 标志拥有定时器_B 的最高中断优先级，并有一个专用的中断向量，如在图 13-15 中所示。当 TBCCR0 的中断要求被服务之后，TBCCR0 CCIFG 标志会自动复位。

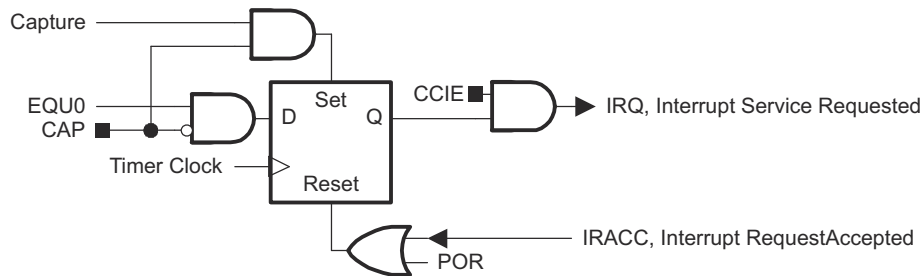


图 13-15. 捕捉/比较 TBCCR0 中断标志

13.2.6.2 TBIV，中断向量发生器

TBIFG 标志和 TBCCR_x CCIFG 标志（不包括 TBCCR0 CCIFG）被优先化且被组合在一起共用一个中断向量。中断向量寄存器 TBIV 用于确定哪个标志要求了一个中断。

使能的最高优先级的中断（不包括 TBCCR0 CCIFG）在 TBIV 寄存器中产生了一个数字（见寄存器描述）。为了自动进入相应的软件程序，可以对这个数字进行评估或将其添加到程序计数器中。禁止定时器_B 中断不会影响 TBIV 的值。

任何对 TBIV 寄存器的访问、读取或写入都会自动复位最高优先级的挂起中断标志。如果另一个中断标志被置位，在服务完最初的中断后会立即产生另一个中断。例如，当中断服务子程序访问 TBIV 寄存器时，如果 TBCCR1 和 TBCCR2 CCIFG 标志被置位，则 TBCCR1 CCIFG 会被自动复位。在中断服务子程序的 RETI 命令被执行后，TBCCR2 CCIFG 标志会产生另一个中断。

13.2.6.3 TBIV，中断处理程序示例

以下软件示例给出了 TBIV 和处理开销的使用和操作 TBIV 的值被加入 PC 以便自动跳转到相应的子程序。

右边空白处的数字表明了每条指令所需的 CPU 时钟周期。不同中断源的软件开销包含中断延迟时间和返回中断周期，但并不包含任务本身的执行时间。延迟是：

- 捕捉/比较块 CCR0：11 个周期
- 捕捉/比较模块 CCR1 至 CCR6：16 个周期
- 计时器溢出 TBIFG：14 个周期

示例 13-1 给出了建议的定时器_B3 的 TBIV 的使用。

示例 13-1. 建议的 TBIV 的使用

```
; Interrupt handler for TBCCR0 CCIFG.          Cycles
CCIFG_0_HND
```

```

...          ; Start of handler Interrupt latency      6
RETI                                               5
; Interrupt handler for TBIFG, TBCCR1 and TBCCR2 CCIFG.
TB_HND      ...          ; Interrupt latency          6
_ADD       &TBIV,PC      ; Add offset to Jump table  3
RETI                                               5
JMP        CCIFG_1_HND   ; Vector 2: Module 1       2
JMP        CCIFG_2_HND   ; Vector 4: Module 2       2
RETI                                               6
RETI                                               8
RETI                                               10
RETI                                               12
TBIFG_HND   ...          ; Vector 14: TIMOV Flag
...          ; Task starts here
RETI                                               5
CCIFG_2_HND ...          ; Vector 4: Module 2
...          ; Task starts here
RETI                                               5
; The Module 1 handler shows a way to look if any other
; interrupt is pending: 5 cycles have to be spent, but
; 9 cycles may be saved if another interrupt is pending
CCIFG_1_HND ...          ; Vector 6: Module 3
...          ; Task starts here
JMP        TB_HND       ; Look for pending ints     2
    
```

13.3 Timer_B 的寄存器

表 13-5 列出了 Timer_B 的存储器映射寄存器。

表 13-5. Timer_B 的寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
180h	TBCTL	定时器_B 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.2
190h	TBR	定时器_B 计数器	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.3
182h	TBCCTL0	定时器_B 的捕获/比较控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
192h	TBCCR0	定时器_B 的捕获/比较 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
184h	TBCCTL1	定时器_B 的捕获/比较控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
194h	TBCCR1	定时器_B 的捕获/比较 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
186h	TBCCTL2	定时器_B 的捕获/比较控制 2	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
196h	TBCCR2	定时器_B 的捕获/比较 2	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
188h	TBCCTL3	定时器_B 的捕获/比较控制 3	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
198h	TBCCR3	定时器_B 的捕获/比较 3	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
18Ah	TBCCTL4	定时器_B 的捕获/比较控制 4	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
19Ah	TBCCR4	定时器_B 的捕获/比较 4	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
18Ch	TBCCTL5	定时器_B 的捕获/比较控制 5	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
19Ch	TBCCR5	定时器_B 的捕获/比较 5	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
18Eh	TBCCTL6	定时器_B 的捕获/比较控制 6	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.4
19Eh	TBCCR6	定时器_B 的捕获/比较 6	读取/写入	POR 后为 00h	节 13.3.5
11Eh	TBIV	定时器_B 中断矢量	读取	POR 后为 00h	节 13.3.6

13.3.1 TBCTL 寄存器

Timer_B 控制寄存器

图 13-16 展示了 TBCTL，表 13-6 中对此进行了介绍。

返回表 13-5。

图 13-16. TBCTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
未使用	TBCLGRP _x		CNTL _x		未使用	TBSSEL _x	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ID _x		MC _x		未使用	TBCLR	TBIE	TBIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	w-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 13-6. TBCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	未使用	R/W	0h	
14-13	TBCLGRP	R/W	0h	TBCL _x 编组 00b = 每个 TBCL _x 锁存器独立加载 01b = TBCL1+TBCL2 (TBCCR1 CLLD _x 位控制更新) TBCL3+TBCL4 (TBCCR3 CLLD _x 位控制更新) TBCL5+TBCL6 (TBCCR5 CLLD _x 位控制更新) 与 TBCL0 无关 10b = TBCL1+TBCL2+TBCL3 (TBCCR1 CLLD _x 位控制更新) TBCL4+TBCL5+TBCL6 (TBCCR4 CLLD _x 位控制更新) 与 TBCL0 无关 11b = TBCL0+TBCL1+TBCL2+TBCL3+TBCL4+TBCL5+TBCL6 (TBCCR1 CLLD _x 位控制更新)
12-11	CNTL _x	R/W	0h	计数器的长度 00b = 16 位, TBR(max) = 0FFFFh 01b = 12 位, TBR(max) = 0FFFh 10b = 10 位, TBR(max) = 03FFh 11b = 8 位, TBR(max) = 0FFh
10	未使用	R/W	0h	
9-8	TBSSEL _x	R/W	0h	定时器_B 的时钟源选择。 00b = TBCLK 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = INCLK (INCLK 特定于器件, 通常分配给反相 TBCLK) (请参阅器件特定数据表)
7-6	ID _x	R/W	0h	输入分频。这些位为输入时钟选择分频器。 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8

表 13-6. TBCTL 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
5-4	MCx	R/W	0h	模式控制。不使用 Timer_B 时设置 MCx = 00b，以节省电力。 00b = 停止模式：计时器停止 01b = 向上计数模式：计时器向上计数到 TBCL0 10b = 连续模式：计时器向上计数到 CNTLx 设置的值 11b = 向上/向下计数模式：计时器向上计数到 TBCL0，然后向下计数到 0000h
3	未使用	R/W	0h	
2	TBCLR	W	0h	Timer_B 清零。设置该位会复位 TBR，时钟分频器，和计数方向。 TBCLR 位自动复位且始终读为 0。
1	TBIE	R/W	0h	定时器_B 中断使能。该位启用 TBIFG 的中断请求。 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	TBIFG	R/W	0h	定时器_B 中断标志。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

13.3.2 TBR 寄存器

Timer_B 计数器寄存器

图 13-17 展示了 TBR，表 13-7 中对此进行了介绍。

返回表 13-5。

图 13-17. TBR 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TBRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TBRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 13-7. TBR 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TBRx	R/W	0h	Timer_B 寄存器。TBR 寄存器是定时器_B 的计数。

13.3.3 TBCCTLx 寄存器

Timer_B 捕捉/比较控制 x 寄存器

图 13-18 展示了 TBCCTLx，表 13-8 中对此进行了介绍。

返回表 13-5。

图 13-18. TBCCTLx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
CMx		CCISx		SCS	CLLDx		CAP
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
OUTMODx			CCIE	CCI	OUT	COV	CCIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 13-8. TBCCTLx 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	CMx	R/W	0h	捕捉模式 00b = 无捕捉 01b = 在上升沿的捕捉 10b = 在下降沿的捕捉 11b = 在上升和下降沿都捕捉
13-12	CCISx	R/W	0h	捕捉/比较输入选择。这些位选择 TBCCRx 的输入信号。有关特定信号连接的信息，请参见具体器件的数据表。 00b = CCIxA 01b = CCIxB 10b = GND 11b = V _{CC}
11	SCS	R/W	0h	同步捕捉源。此位是用来同步定时器时钟与捕捉输入信号的。 0b = 异步捕捉 1b = 同步捕捉
10-9	CLLDx	R/W	0h	比较锁存载入。该位选择比较锁存载入事件。 00b = TBCLx 在对 TBCCRx 进行写入时加载 01b = TBCLx 在 TBR 计数到 0 时加载 10b = TBCLx 在 TBR 计数到 0 时加载 (向上计数或连续模式) TBCLx 在 TBR 计数到 TBCL0 或 0 时加载 (向上/向下计数模式) 11b = TBCLx 在 TBR 计数到 TBCLx 时加载
8 个	CAP	R/W	0h	捕捉模式 0b = 比较模式 1b = 捕捉模式
7-5	OUTMODx	R/W	0h	输出模式。模式 2, 3, 6, 和 7 对 TBCL0 来说是无用的，这是因为 EQUx = EQU0。 000b = OUT 位的值 001b = 置 1 010b = 触发/复位 011b = 置 1/复位 100b = 触发 101b = 复位 110b = 触发/置 1 111b = 复位/置 1

表 13-8. TBCCTLx 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
4	CCIE	R/W	0h	捕捉/比较中断使能。该位使能相应 CCIFG 标志的中断请求。 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
3	CCI	R	0h	捕捉/比较输入。所选输入信号可以由该位读出。
2	OUT	R/W	0h	输出。对于输出模式 0，该位直接控制输出的状态。 0b = 输出低电平 1b = 输出高电平
1	COV	R/W	0h	捕捉溢出。该位表示一个已发生的捕捉溢出。COV 位必须由软件复位。 0b = 未发生捕捉溢出 1b = 捕捉溢出发生
0	CCIFG	R/W	0h	捕捉/比较中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

13.3.4 TBCCRx 寄存器

Timer_B 捕捉/比较 x 寄存器

图 13-19 展示了 TBCCRx，表 13-9 中对此进行了介绍。

返回表 13-5。

图 13-19. TBCCRx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TBCCRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TBCCRx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 13-9. TBCCRx 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TBCCRx	R/W	0h	Timer_B 的捕捉/比较寄存器。 比较模式：比较数据被写入每个 TBCCRx 后自动传递到 TBCLx 中。TBCLx 保存了与定时器_B 的寄存器，TBR，定时器的值相比较的数据。 捕捉模式：执行捕捉时，Timer_B 寄存器 TBR 被复制到 TBCCRx 寄存器中。

13.3.5 TBIV 寄存器

图 13-20 展示了 TBIV，表 13-10 中对此进行了介绍。

返回表 13-5。

图 13-20. TBIV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
TBIVx							
r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
TBIVx							
r0	r0	r0	r0	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r0

表 13-10. TBIV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	TBIVx	R	0h	Timer_B 中断向量值。请参阅表 13-11 以了解值。

表 13-11. Timer_B 中断向量

TBIV 的目录	中断源	中断标志	中断优先级
00h	无中断等待	-	
02h	捕捉/比较 1	TBCCR1 CCIFG	最高
04h	捕捉/比较 2	TBCCR2 CCIFG	
06h	捕捉/比较 3 ⁽¹⁾	TBCCR3 CCIFG	
08h	捕捉/比较 4 ⁽¹⁾	TBCCR4 CCIFG	
0Ah	捕捉/比较 5 ⁽¹⁾	TBCCR5 CCIFG	
0Ch	捕捉/比较 6 ⁽¹⁾	TBCCR6 CCIFG	
0Eh	定时器溢出	TBIFG	最低

(1) 不适用于所有设备。

章节 14
通用串行接口 (USI)



通用串行接口 (USI) 模块提供与一个硬件模块的 SPI 和 I²C 串行通信。本章讨论两个模式。

14.1 USI 介绍	418
14.2 USI 运行	421
14.3 USI 寄存器	427

14.1 USI 介绍

USI 模块提供支持同步串行通信的基本功能性。在其最简单的形式中，它是一个可被用于输出数据帧的 8 位或 16 位移位寄存器，或者当与最少软件组合使用时，它可执行串行通信。此外，USI 包括简化 SPI 和 I²C 通信的内置硬件功能性。USI 模块还包括中断来进一步减少针对串行通信和保持 MSP430 超低功耗功能所需软件开销。

USI 模块特性包括：

- 三线制 SPI 模式支持
- I²C 模式支持
- 可变数据长度
- LPM4 中的从器件运行；无需内部时钟
- 可选 MSB 或 LSB 数据顺序
- 针对带有自动 SCL 控制的 I²C 模式的 START 和 STOP 检测
- 主控模式下的仲裁丢失检测
- 可编程时钟生成
- 可选时钟极性和相位控制

图 14-1 展示了 SPI 模式下的 USI 模块。图 14-2 显示了 I²C 模式中的 USI 模块。

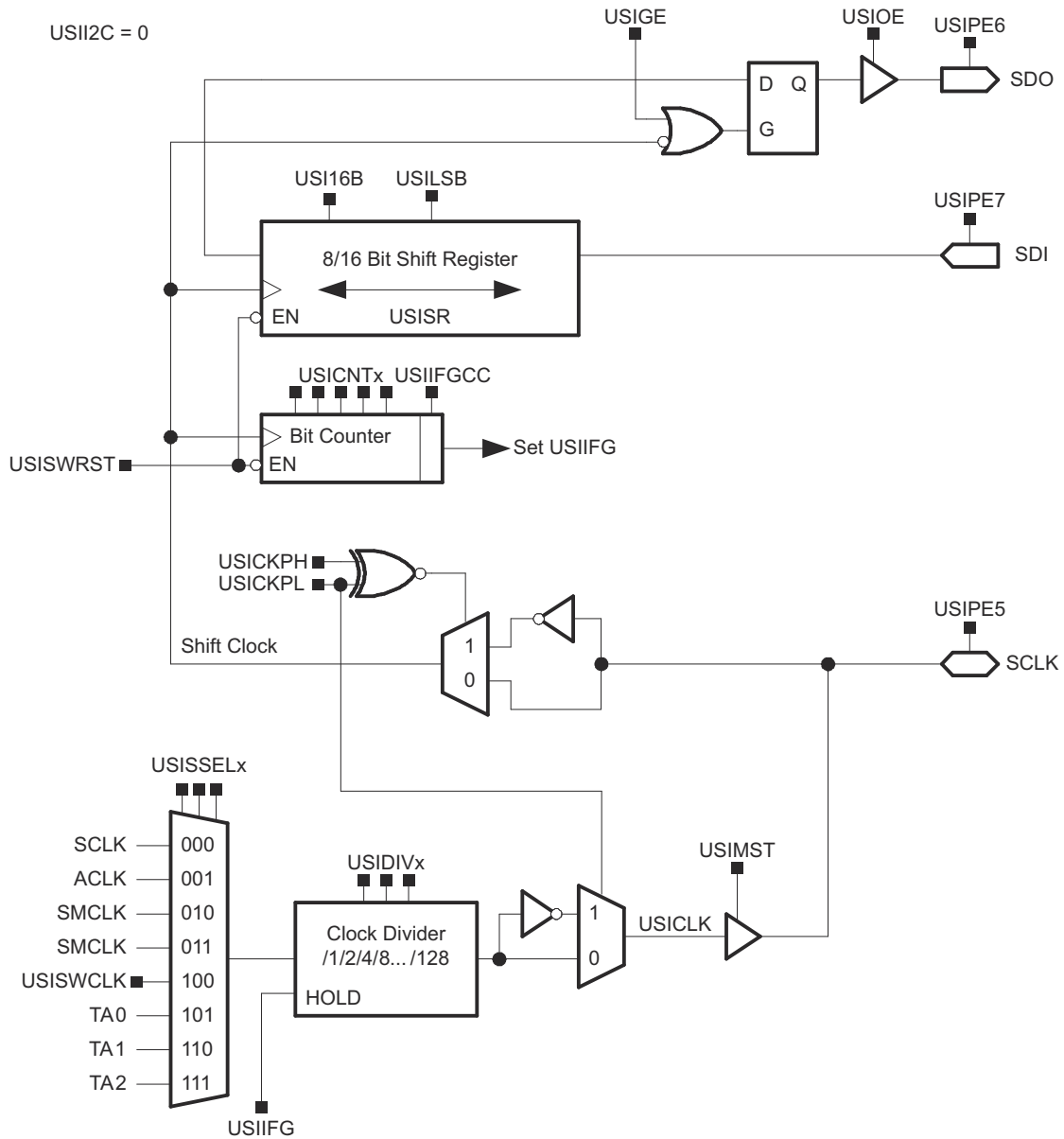


图 14-1. USI 方框图：SPI 模式

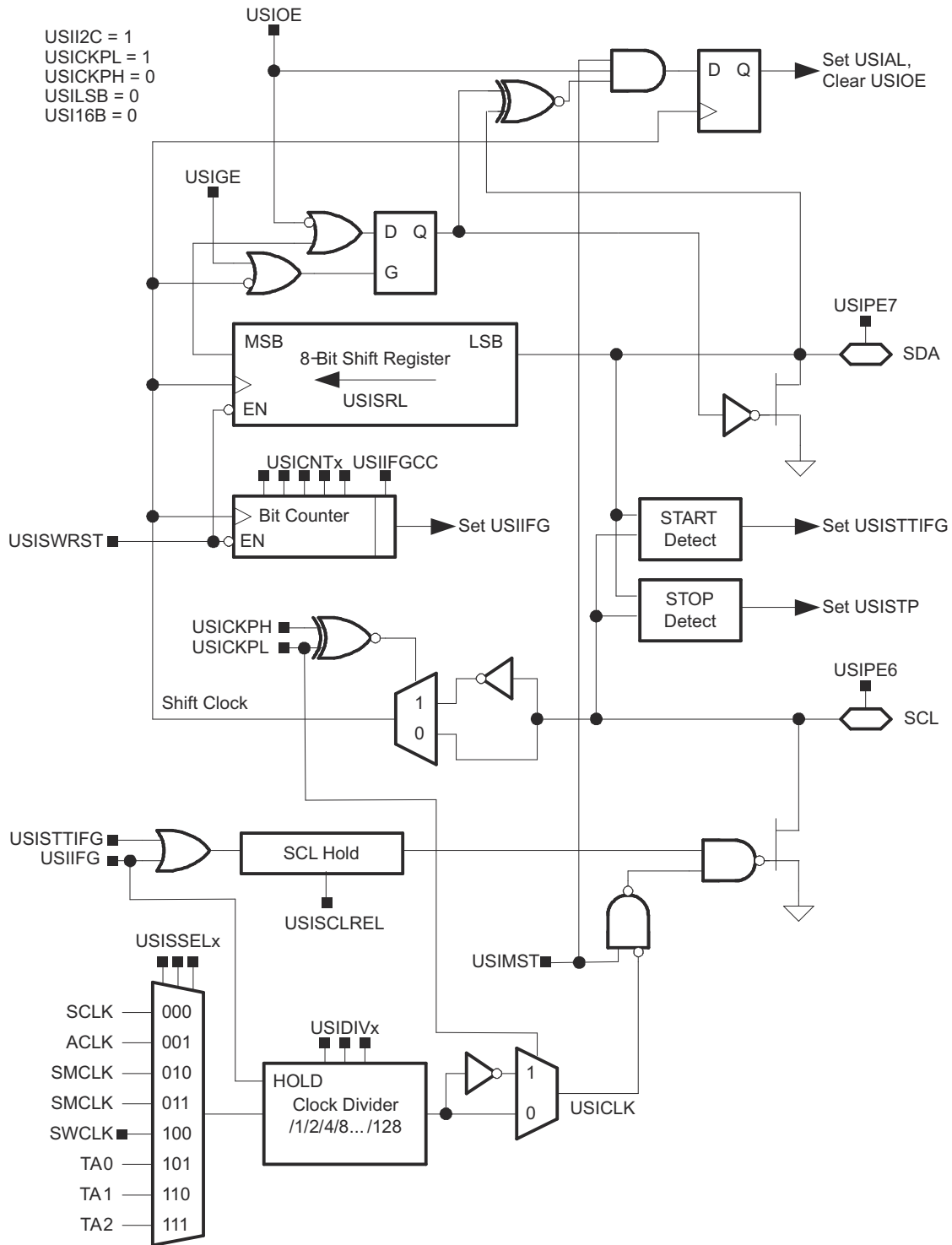


图 14-2. USI 方框图 : I²C 模式

14.2 USI 运行

USI 模块是一个移位寄存器和包含支持 SPI 和 I²C 通信逻辑的位计数器。USI 移位寄存器 (USISR) 可由软件直接访问并且包含将被传送或者已经被接收到的数据。

位计数器计算被采样位的数量并且当 USICNTx 值变为零时设定 USI 中断标志 USIIFG，通过递减或者直接为零写入 USICNTx 位。当 USIIFG=0 时，将一个大于 0 值写入 USICNTx 将自动清除 USIIFG，否则 USIIFG 不受影响。USICNTx 位在变为 0 时停止递减。它们不会下溢至 0FFh。

计数器和移位寄存器由同一个移位时钟驱动。在一个上升的移位时钟边沿，USICNTx 递减并且 USISR 采样下一个位输入。连接到移位寄存器输出的锁存器将输出的变化延迟到移位时钟的下降沿。通过设置 USIGE 位，它可被透明完成。该设置根据 USILSB 位将 USISR 的 MSB 或 LSB 输出到 SDO 引脚。

14.2.1 USI 初始化

当设置 USI 软件复位位 (USISWRST) 时，标志 USIIFG、USISTTIFG、USISTP 和 USIAL 保持在其复位状态。不对 USISR 和 USICNTx 进行计时，并且其内容不受影响。在 I²C 模式中，通过 USI 硬件，SCL 线路也被释放至闲置状态。

备注

如果在 USI 模块处于软件复位模式 (USISWRST = 1) 时 USIIE = 1，则可能会发生重复的 USI 计数器中断，因为 USIIFG 的默认值为 1。

为了避免这些重复的中断，请在将 USI 模块置于软件复位模式 (USISWRST = 1) 之前禁用 USI 计数器中断 (USIIE = 0)。

在退出软件复位模式时，在清除 USISWRST 之前不要设置 USIIE。

若要激活 USI 端口功能，必须设置 USI 控制寄存器中相应的 USIPE_x 位，以选择引脚的 USI 功能并保持引脚的 PxIN 和 PxIFG 功能。利用该功能，可以通过软件在 PxIN 寄存器中读取端口输入电平，并且传入的数据流可以在数据转换时生成端口中断。例如，这将有助于在一个 START 边沿上生成一个端口中断。

14.2.2 USI 时钟生成

USI 时钟生成器包含一个时钟选择复用器、一个分频器、和选择图 14-1 和图 14-2 中显示的方框图内时钟极性的功能。

可从内部时钟 ACLK 或者 SMCLK，从一个外部时钟 SCLK，以及从 Timer_A 的捕捉/比较输出内选择时钟源。此外，当 USISSEL_x=100 时，可使用 USISWCLK 位通过软件来为模块计时。

USIDIV_x 位可被用于通过一个 2 至 128 的倍数来将所选的时钟的分频。当 USIIFG=0 或者当模块运行在受控模式下的时候，生成的时钟，USICKL 被停止。

USICKPL 位被用于选择 USICKL 的极性。当 USICKPL=0 时，USICKL 的无效电平为低电平。当 USICKPL=1 时，USICKL 的无效电平为高电平。

14.2.3 SPI 模式

当 USI2C=0 时，USI 模块被配置为 SPI 模式。控制位 USICKPL 选择 SPI 时钟的无效电平，而 USICKPH 选择更新 SDO 和对 SDI 进行采样的时钟沿。图 14-3 展示了针对一个 8 位，MSB 首先传送的时钟/数据关系。USIPE5，USIPE6 和 USIPE7 被置位来启用 SCLK，SDO 和 SDI 端口功能。

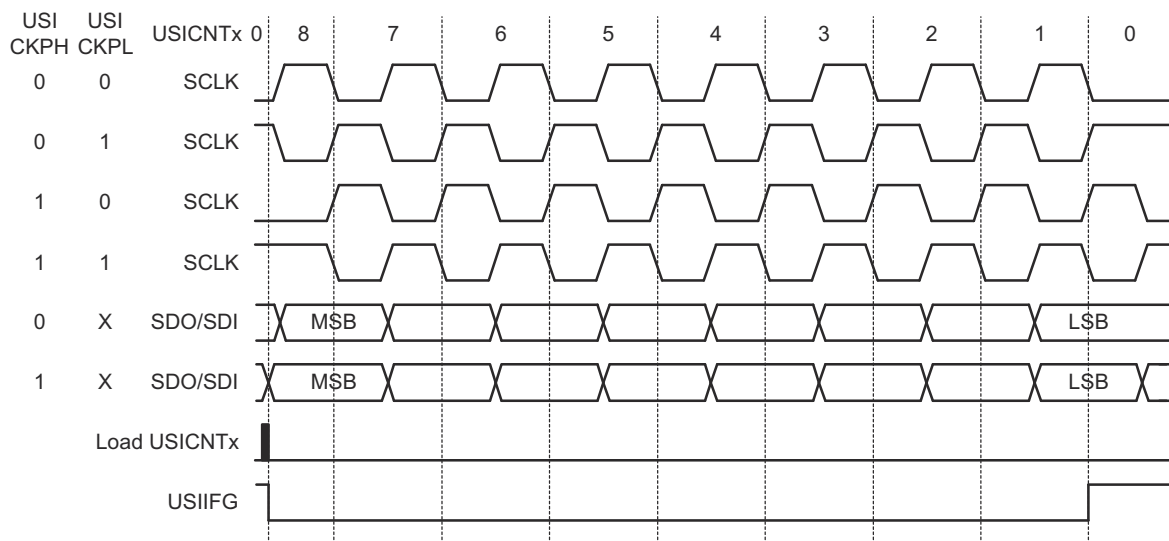


图 14-3. SPI 时序

14.2.3.1 SPI 主控模块

通过设置主控位 USIMST 和清除 I²C 位 USI2C，USI 模块被配置为 SPI 主控。由于主控为受控提供时钟，需要选择一个适当的时钟源并且 SCLK 被配置为输出。当 USIPE5=1 时，SCLK 被配置为一个输出。

当 USIIFG=0 和 USICNTx>0 时，时钟生成被启用并且主控将使用 USISR 开始计时输入/输出数据。

在新数据被写入移位寄存器用于传输时，必须将接收到的数据从移位寄存器中读出。在一个典型应用中，USI 软件将从 USISR 中读取接收到的数据，将被发送的数据写入 USISR，并且通过将发送的一定数量的位写入 USICNTx 来启用用于下次传输的模块。

14.2.3.2 SPI 受控模式

通过清除 USIMST 和 USI2C 位，USI 模块被配置为 SPI 受控模式。在这个模式下，当 USIPE5=1 时，SCLK 被自动配置为一个输入并且 USI 从外部接收来自主器件的时钟。

如果 USI 将传输数据，在主器件提供第一个时钟边沿之前，必须将数据载入到移位寄存器。通过设置 USIOE，输出被启用。当 USICKPH=1 时，载入移位寄存器后，MSB 将立即在 SDO 上可见。

通过清除 USIOE 位，SDO 位可被禁用。如果从器件不在总线上有多个从器件的环境中寻址，这一功能将有所帮助。

一旦所有位被接收，在来自主控的下一个时钟边沿之前，数据必须从 USISR 中读取并且新数据被载入到 USISR 中。在一个典型应用中，在接收数据后，USI 软件将读取 USISR 寄存器，将被传送的新数据写入 USISR，并且通过将一定数量的位传送至 USICNTx 来为下一次传输来启用 USI 模块。

14.2.3.3 USISR 操作

16 位 USISR 由两个 8 位寄存器，USISRL 和 USISR 组成。控制位 USI16B 选择用于数据传输和接收的 USISR 的位的数量。当 USI16B=0 时，只使用较低的 8 位，USISRL。

为了传输小于 8 位的数据，数据必须被载入到 USISRL，这样未使用的位没有被移除。数据必须为 MSB 或 LSB 对齐，具体取决于 USILSB。图 14-4 展示了一个 7 位数据处理的示例。

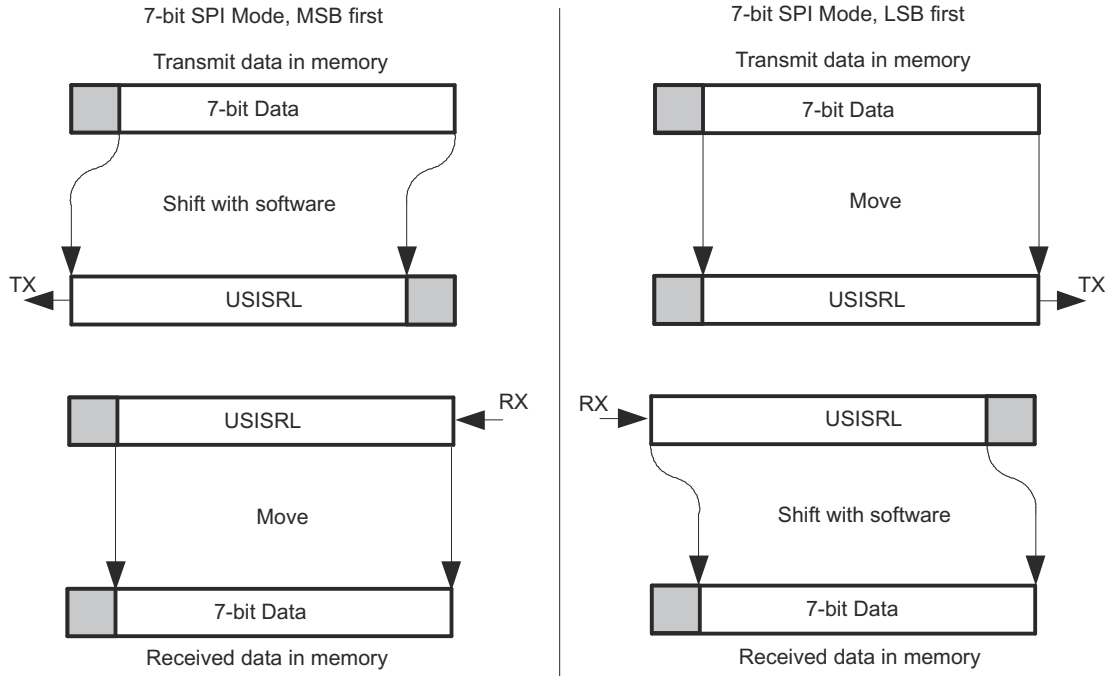


图 14-4. 针对 7 位 SPI 数据的数据调整

当 USI16B=1 时，所有 16 位被用于数据处理。当使用 USISR 来访问 USISRL 和 USISRH 时，当小于 16 位的数据的使用方式与图 14-4 中显示的方式一样时，数据需要被适当调整。

14.2.3.4 SPI 中断

有一个与 USI 模块相关的中断矢量，以及一个相对于 SPI 操作的中断标志，USIIFG。当 USIIE 和 GIE 被置位时，中断标志将生成一个中断请求。

当 USICNTx 变为零时（被计算或者直接将 0 写入 USICNTx 位），USIIFG 被置位。当 USIIFGCC=0，或者被软件直接写入时，通过将一个大于 0 的值写入 USICNTx 位，USIIFG 被清零。

14.2.4 I²C 模式

当 USI2C = 1、USICKPL = 1 且 USICKPH = 0 时，USI 模块被配置为 I²C 模式。为了实现 I²C 数据兼容性，USILSB 和 USI16B 必须被清除。USIPE6 和 USIPE7 必须被置位来启用 SCL 和 SDA 端口功能。

对于在 I²C 模式下使用 USI 的示例，请参阅 [使用 USI I²C 代码库](#) 以及 TI Resource Explorer → MSP430Ware 中的 [器件特定代码示例](#)。

14.2.4.1 I²C 主控模式

为了将 USI 模块配置为一个 I²C 主器件，必须将 USIMST 位置位。在主模式下，时钟由 USI 模块生成并在 USIIFG = 0 时输出到 SCL 线路。当 USIIFG=1 时，SCL 将在闲置，或高电平时停止。支持多主器件操作，如 [节 14.2.4.8](#) 所述。

仅当 USIDIVx > 0 时，主器件才支持将 SCL 线路保持为低电平的从器件。当 USIDIVx 被设定为 /1 时钟分频 (USIDIVx=0) 时，被连接的从器件在数据传输时不能将 SCL 线路保持在低电平。否则通信可能失败。

14.2.4.2 I²C 从模式

为了将 USI 模块配置为一个 I²C 从器件，USIMST 位被清零。在从模式下，如果 USIIFG = 1、USISTTIFG = 1 或者如果 USICNTx = 0，则 SCL 保持低电平。在从器件被设置并且已经为从一个主器件接收从地址做好准备后，USISTTIFG 必须由软件清除。

14.2.4.3 I²C 发送器

在发送器模式中，数据被首先载入到 USISRL。通过设置 USIOE，输出被启用，并且通过将 8 写入 USICNTx，传输被启动。这清除了 USIIFG，并且 SCL 在从模式中清除，或者在受控模式中从被保持低电平释放。在传输了所有 8 个位后，USIIFG 被置位，并且在从模式中，SCL 上的时钟信号被停止或者在受控模式的下一个低相位上被保持低电平。

为了接收 I²C 确认位，USIOE 位用软件清零，USICNTx 加载 1。这清除了 USIIFG 并且一个位被写入 USISRL。当 USIIFG 再次被置位时，USISRL 的 LSB 是接收到的确认位，并且用软件测试。

```

; Receive ACK/NACK
  BIC.B #USIOE,&USICTL0    ; SDA input
  MOV.B #01h,&USICNT       ; USICNTx = 1
TEST_USIIFG
  BIT.B #USIIFG,&USICTL1   ; Test USIIFG
  JZ    TEST_USIIFG
  BIT.B #01h,&USISRL       ; Test received ACK bit
  JNZ   HANDLE_NACK       ; Handle if NACK
...Else, handle ACK
    
```


14.2.4.4 I²C 接收器

在 I²C 接收器模式中，必须通过清除 USIOE 将输出禁用，并且通过写入 8 到 USICNTx，USI 模块为接收做好准备。这清除了 USIIFG，并且在主控模式中生成 SCL 或者在受控模式中被从低电平保持中释放。8 个时钟后，USIIFG 位将被置位。这停止了主控模式中 SCL 上的时钟信号或者在受控模式中的下一个相位上将 SCL 保持在低电平。

为了传送一个确认位或者不确认位，将 0 或者 1 载入移位寄存器的 MSB，用软件将 USIOE 位置位来启用输出，并且将 1 写入 USICNTx 位。只要 MSB 位被移出，USIIFG 将被置位，并且模块可为接收下一个 I²C 数据类型做好准备。

```

; Generate ACK
  BIS.B  #USIOE,&USICTL0    ; SDA output
  MOV.B  #00h,&USISRL      ; MSB = 0
  MOV.B  #01h,&USICNT      ; USICNTx = 1
TEST_USIIFG
  BIT.B  #USIIFG,&USICTL1  ; Test USIIFG
  JZ     TEST_USIIFG
...continue...
; Generate NACK
  BIS.B  #USIOE,&USICTL0    ; SDA output
  MOV.B  #0FFh,&USISRL     ; MSB = 1
  MOV.B  #01h,&USICNT      ; USICNTx = 1
TEST_USIIFG
  BIT.B  #USIIFG,&USICTL1  ; Test USIIFG
  JZ     TEST_USIIFG
...continue...

```

14.2.4.5 START 条件

在 SCL 为高电平时，一个 START 条件是一个从高电平到低电平的转换。可以通过将移位寄存器的 MSB 设置为 0 来生成 START 条件。设置 USIGE 和 USIOE 位使得输出锁存透明，并且移位寄存器中的 MSB 被立即提供给 SDA，并将线路拉至低电平。清除 USIGE 可重新开始时钟锁存功能并在输出随 SCL 移除之前在 SDA 上保持 0。

```

; Generate START
  MOV.B  #000h,&USISRL      ; MSB = 0
  BIS.B  #USIGE+USIOE,&USICTL0 ; Latch/SDA output enabled
  BIC.B  #USIGE,&USICTL0    ; Latch disabled
...continue...

```

14.2.4.6 STOP 条件

SCL 为高电平时，一个 STOP 条件是在 SDA 上的一个低电平到高电平的转换。为了完成确认位并且将 SDA 拉至低电平来为一个 STOP 条件生成做好准备，要求清除移位寄存器中的 MSB 并且将 1 载入 USICNTx。这将在低相位 SDA 被拉至低电平期间在 SCL 上生成一个低相位。由于模块处于主控模式，SCL 在闲置，或高电平状态中停止。为了产生从低电平到高电平的转换，在移位寄存器中设置 MSB，并且 USICNTx 加载 1。设置 USIGE 和 USIOE 位使得输出锁存透明，并且 USISRL 的 MSB 将 SDA 释放至闲置状态。清除 USIGE 将 MSB 存储在输出锁存中，并且通过清除 USIOE 来禁用输出。SDA 保持高电平，直到有一个外部上拉电阻器导致的 START 条件生成。

```

; Generate STOP
  BIS.B  #USIOE,&USICTL0    ; SDA=output
  MOV.B  #000h,&USISRL      ; MSB = 0
  MOV.B  #001h,&USICNT      ; USICNT = 1 for one clock
TEST_USIIFG
  BIT.B  #USIIFG,&USICTL1  ; Test USIIFG
  JZ     test_USIIFG
  MOV.B  #0FFh,&USISRL     ; USISRL = 1 to drive SDA high
  BIS.B  #USIGE,&USICTL0    ; Transparent latch enabled
  BIC.B  #USIGE+USIOE,&USICTL; Latch/SDA output disabled
...continue...

```

14.2.4.7 释放 SCL

如果它被 USI 模块保持在低电平，在无需清除 USIIFG 的情况下，设置 USISCLREL 位将释放 SCL。如果一个 START 条件被接收并且 SCL 线路将在下一个时钟上被保持低电平，USISCLREL 位将被自动清除。

在受控模式运行中，当从器件已经检测到它不由主器件编址时，这个位应该被用来防止 SCL 被保持低电平。在下一个 START 条件时，USISCLREL 将被清除并且 USISTTIFG 将被置位。

14.2.4.8 仲裁

USI 可检测一个多主控 I²C 系统中失败的仲裁条件。I²C 仲裁程序通过发送器竞争来使用出现在 SDA 上的数据。第一个生成逻辑高电平的主控发射器在与相对生成逻辑低电平的主控发射器竞争时失败。可以通过比较提供给总线的值和从总线读取的值，在 USI 模块中检测仲裁失败。如果这两个值不相等，则仲裁失败并设置仲裁失败标志 USIAL。这还会清除输出使能位 USIOE，USI 模块不再驱动总线。在这种情况下，用户软件必须与 USIIFG 一同检查 USIAL 标志，在仲裁失败时将 USI 配置为从接收器。USIAL 标志必须由软件清除。

为了防止其他更快速的主控在仲裁程序运行期间生成时钟，如果总线上的其它主控将 SCL 驱动为低电平并且 USIIFG 或 USISTTIFG 被置位，或者如果 USICNTx=0 的话，SCL 被保持在低电平。

14.2.4.9 I²C 中断

这是一个中断矢量，它通过两个针对 I²C 运行的中断标志，USIIFG 和 USISTTIFG，与 USI 模块相关联。每个中断标志由其自己的中断使能位，USIIE 和 USISTTIE。当一个中断被启用并且 GIE 位被置位时，一个被置位的中断标志将生成一个中断请求。

当 USICNTx 变为零（通过计数或者通过直接向 USICNTx 位写入 0），USIIFG 被置位。当 USIIFGCC=0 时，通过写入一个大于 0 的值到 USICNTx 位，USIIFG 被清除，或者直接由软件清除。

当检测到一个 START 条件时，USISTTIFG 被置位。USISTTIFG 必须由软件清除。

由 USISTP 标志表示接收到一个 START 条件，但是没有与 USISTP 标志相关的中断功能。当 USIIFGCC=0 时，通过将大于 0 的值写入 USICNTx 位，USISTP 被清零，或者被软件直接清除。

14.3 USI 寄存器

表 14-1 列出了 USI 的存储器映射寄存器。

表 14-1. USI 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
78h	USICTL0	USI 控制 0	读取/写入	PUC 后为 01h	节 14.3.2
79h	USICTL1	USI 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 14.3.3
7Ah	USICKCTL	USI 时钟控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 14.3.4
7Bh	USICNT	USI 位计数器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 14.3.5
7Ch	USISRL	USI 低字节移位	读取/写入	未改变	节 14.3.6
7Dh	USISRH	USI 高字节移位	读取/写入	未改变	节 14.3.7

可使用表 14-2 中显示的字指令访问 USI 寄存器。

表 14-2. 到 USI 寄存器的字访问

地址	首字母缩写	寄存器名称	高字节寄存器	低字节寄存器
078h	USICTL	USI 控制	USICTL1	USICTL0
07Ah	USICCTL	USI 时钟和计数器控制	USICNT	USICKCTL
07Ch	USISR	USI 移位	USISRH	USISRL

14.3.1 USICTL0 寄存器

USI 控制 0 寄存器

图 14-5 展示了 USICTL0，表 14-3 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-5. USICTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USIPE7	USIPE6	USIPE5	USILSB	USIMST	USIGE	USIOE	USISWRST
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 14-3. USICTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	USIPE7	R/W	0h	USI SDI/SDA 端口启用。SPI 模式中的输入，I ² C 模式中的输入或者开漏输出。 0b = 禁用 USI 功能 1b = 启用 USI 功能
6	USIPE6	R/W	0h	USI SDO/SCL 端口启用。SPI 模式中的输出，I ² C 模式中的输入或者开漏输出。 0b = 禁用 USI 功能 1b = 启用 USI 功能
5	USIPE5	R/W	0h	USI SCLK 端口启用。SPI 从模式或 I ² C 模式中的输入，SPI 主控模式中的输出。 0b = 禁用 USI 功能 1b = 启用 USI 功能
4	USILSB	R/W	0h	首先选择 LSB。这个位控制接收和发送移位寄存器的方向。 0b = MSB 在前 1b = LSB 在前
3	USIMST	R/W	0h	主器件选择 0b = 从模式 1b = 主模式
2	USIGE	R/W	0h	输出锁存控制 0b = 输出锁存使能取决于移位时钟 1b = 输出锁存始终启用且透明
1	USIOE	R/W	0h	数据输出启用 0b = 禁用输出 1b = 启用输出
0	USISWRST	R/W	1h	USI 软件复位 0b = USI 释放以运行 1b = USI 逻辑保持在复位状态

14.3.2 USICTL1 寄存器

USI 控制 1 寄存器

图 14-6 展示了 USICTL1，表 14-4 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-6. USICTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USICKPH	USII2C	USISTTIE	USIIE	USIAL	USISTP	USISTTIFG	USIIFG
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 14-4. USICTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	USICKPH	R/W	0h	时钟相位选择 0b = 数据在第一个 SCLK 边沿发生变化，在下一个边沿被捕获。 1b = 数据在第一个 SCLK 边沿被捕获，在下一个边沿发生变化。
6	USII2C	R/W	0h	I ² C 模式启用 0b = 禁用 I ² C 模式 1b = 启用 I ² C 模式
5	USISTTIE	R/W	0h	START 条件中断-启用 0b = 禁用 START 条件上的中断 1b = 启用 START 条件上的中断
4	USIIE	R/W	0h	USI 计数器中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
3	USIAL	R/W	0h	仲裁丢失 0b = 无仲裁失败条件 1b = 仲裁失败
2	USISTP	R/W	0h	STOP 条件被接收。当 USIIFGCC=0 时，如果 USICNTx 被载入一个大于 0 的值，USISTP 被自动清除。 0b = 未接收到 STOP 条件 1b = 接收到 STOP 条件
1	USISTTIFG	R/W	0h	启动条件中断标志 0b = 未接收到 START 条件。无中断挂起。 1b = 接收到 START 条件。中断挂起
0	USIIFG	R/W	1h	USI 计数器中断标志。当 USICNTx = 0 时设置。当 USIIFGCC=0 时，如果 USICNTx 被载入一个大于 0 的值，被自动清除。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

14.3.3 USICKCTL 寄存器

USI 时钟控制寄存器

图 14-7 展示了 USICKCTL，表 14-5 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-7. USICKCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USIDIVx			USISSELx			USICKPL	USISWCLK
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 14-5. USICKCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	USIDIVx	R/W	0h	时钟分频选择 000b = 不分频 001b = 2 倍分频 010b = 4 倍分频 011b = 8 倍分频 100b = 16 倍分频 101b = 32 分频 110b = 64 分频 111b = 128 分频
4-2	USISSELx	R/W	0h	时钟源选择。未在从模式下使用。 000b = SCLK (不用于 SPI 模式) 001b = ACLK 010b = SMCLK 011b = SMCLK 100b = USISWCLK 位 101b = TACCR0 110b = TACCR1 111b = TACCR2 (在 MSP430F20xx 器件上保留)
1	USICKPL	R/W	0h	时钟极性选择 0b = 无效状态为低电平 1b = 无效状态为高电平
0	USISWCLK	R/W	0h	软件时钟 0b = 输入时钟为低电平 1b = 输入时钟为高电平

14.3.4 USICNT 寄存器

USI 位计数器寄存器

图 14-8 展示了 USICNT，表 14-6 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-8. USICNT 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USISCLREL	USI16B	USIIFGCC	USICNTx				
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 14-6. USICNT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	USISCLREL	R/W	0h	SCL 释放。SCL 线路被从低电平释放到闲置状态。如果检测到一个 START 条件，USISCLREL 被清除。 0b = 如果设置了 USIIFG，则 SCL 线保持低电平 1b = SCL 线被释放
6	USI16B	R/W	0h	16 位移位寄存器启用 0b = 8 位移位寄存器模式。低字节寄存器 USISRL 被使用。 1b = 16 位移位寄存器模式。高字节和低字节寄存器 USISRL 和 USISRH 都被使用。USISR 同时寻址所有 16 位。
5	USIIFGCC	R/W	0h	USI 中断标志清除控制。当 USIIFGCC=0 并且 USICNTx 被写入一个大于 0 的值时，USIIFG 将不能被自动置位。 0b = USIIFG 在 USICNTx 更新时自动清除 1b = USIIFG 不自动清除
4-0	USICNTx	R/W	0h	USI 位计数。USICNTx 位设定将被接收或发出的位的数量。

14.3.5 USISRL 寄存器

USI 低字节移位寄存器

图 14-9 展示了 USISRL，表 14-7 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-9. USISRL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USISRLx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 14-7. USISRL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	USISRLx	R/W	未更改	USI 低字节移位寄存器的内容

14.3.6 USISRH 寄存器

USI 高字节移位寄存器

图 14-10 展示了 USISRH，表 14-8 中对此进行了介绍。

返回表 14-1。

图 14-10. USISRH 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
USISRHx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 14-8. USISRH 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	USISRHx	R/W	未更改	USI 高字节移位寄存器的内容当 USI16B=0 时被忽略。

通用串行通信接口, UART 模式



通用串行通信接口 (USCI) 在同一个硬件模块下支持多路串行通信模式。本章讨论了异步 UART 模式的操作。

15.1 USCI 概述	434
15.2 USCI 简介 : UART 模式	434
15.3 USCI 操作 : UART 模式	436
15.4 USCI 寄存器 : UART 模式	452

15.1 USCI 概述

通用串行通信接口 (USCI) 模块支持多种串行通信模式。不同的 USCI 模块支持不同的模式。每种不同的 USCI 模块用不同的字母命名。例如, USCI_A 不同于 USCI_B 等。如果在一个器件上实现了多个相同的 USCI 模块, 则这些模块以递增的数字命名。例如, 如果一个设备有两个 USCI_A 模块, 它们被命名为 USCI_A0 和 USCI_A1。请参阅器件专用数据表来决定在何种器件执行哪一个 USCI 模块。

USCI_Ax 模块支持:

- UART 模式
- 用于 IrDA 通信的脉冲整形
- 用于 LIN 通信的波特率自动检测
- SPI 模式

USCI-Bx 模块支持:

- I²C 模式
- SPI 模式

15.2 USCI 简介: UART 模式

在异步模式中, USCI_Ax 模块通过两个外部引脚, UCxAxRXD 和 UCxAxTXD, 把 MSP430 和一个外部系统连接起来。当 UCSYNC 位被清零时就选择了 UART 模式。

UART 模式的特性包括:

- 7 或 8 位奇, 偶, 或无奇偶校验的数据
- 独立的发送和接收移位寄存器
- 独立的发送和接收缓冲寄存器
- 最低有效位 (LSB) 优先或最高有效位 (MSB) 优先的数据发送和接收
- 多处理器系统中内置空闲线和地址位通信协议
- 接收器开始边沿检测以从 LMPx 模式中自动唤醒
- 支持分数波特率的可编程调制波特率
- 状态标志的错误检测和抑制
- 地址检测的状态标志
- 独立接收和发送中断的能力

图 15-1 给出了配置为 UARG 模式的 USCI_Ax。

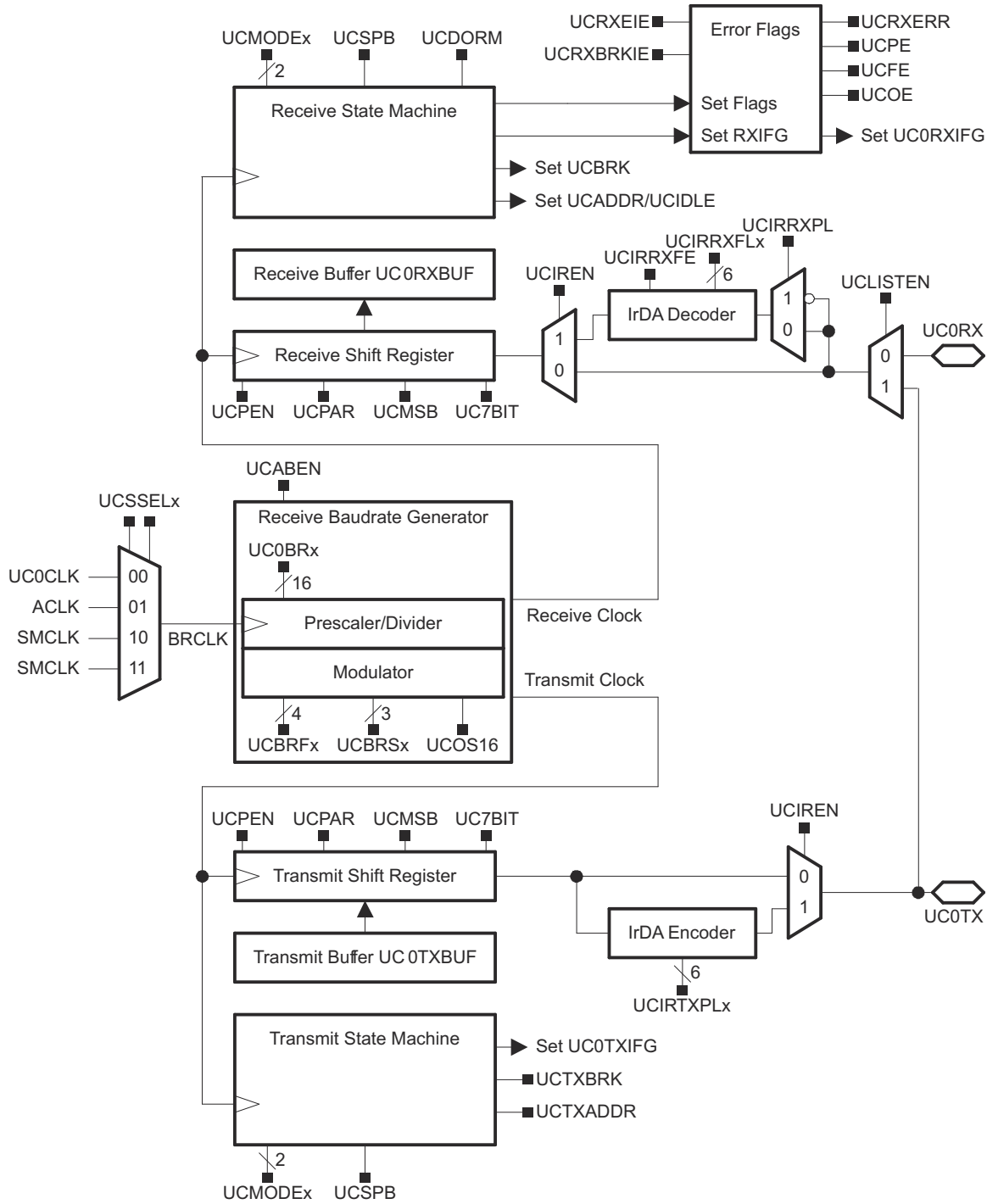


图 15-1. USCI_Ax 方框图 : UART 模式 (UCSYNC = 0)

15.3 USCI 操作 : UART 模式

在 UART 模式下, USCI 发送和接收的字符以每一个位速率异步于到另一个器件。每个字符传输的计时取决于所选的 USCI 波特率。传输和接收功能使用相同的波特率。

15.3.1 USCI 初始化和复位

USCI 由一个 PUC 进行复位或由 UCSWRST 位设置。在一个 PUC 后, UCSWRST 位自动置位, 保持了 USCI 处于一个复位状态。当置位时, UCSWRST 位复位 UCAxRXIE, UCAxTXIE, UCAxRXIFG, UCRXERR, UCBRK, UCPE, UCOE, UCFE, UCSTOE 和 UCBTOE 位置位 UCAxTXIFG 位。清零 UCSWRST 释放了 USCI 的操作。

备注

初始化或重新配置 USCI 模块

建议的 USCI 初始化或重新配置过程是:

1. 设置 UCSWRST (BIS.B #UCSWRST, &UCAxCTL1)
2. UCSWRST=1 时初始化所有 USCI 寄存器 (包括 UCAxCTL1)
3. 配置端口
4. 通过软件清除 UCSWRST (BIC.B #UCSWRST, &UCAxCTL1)
5. 通过 UCAxRXIE 和/或 UCAxTXIE 是使能中断 (可选)

15.3.2 字符格式

UART 的字符格式, 展示在图 15-2 中, 包括一个开始位, 7 个或 8 个数据位, 一个奇/偶/无校验位, 一个地址位 (地址位模式), 和一个或两个停止位。UCMSB 位控制传输的方向以及优先选择 LSB 还是 MSB。UART 通信典型地要求先发送 LSB。

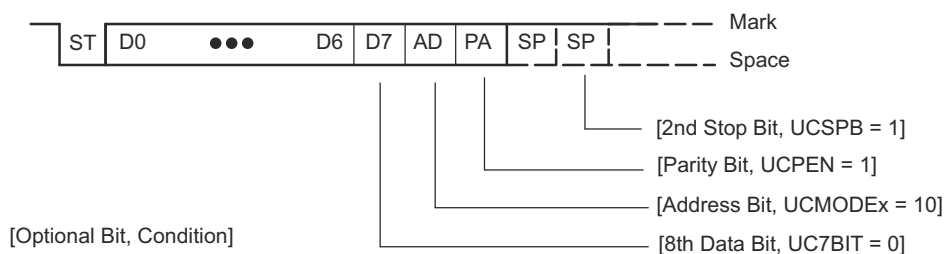


图 15-2. 字符格式

15.3.3 异步通信格式

当两个器件异步通信时, 协议不需要多处理器格式。当三个或更多的器件通信时, USCI 支持空闲线和地址位多处理器通信格式。

15.3.3.1 空闲线多处理器格式

当 UCMODEx=01 时, 空闲线多处理器格式被选中。数据块在发送或接收线上被一段空闲时间隔开, 如图 15-3 所示。当在字符的一个或两个停止位之后接收到 10 个或更多连续一 (标记) 时, 检测到空闲接收行。在接收到一条空闲线后, 直到下一次开始边沿被监测到时波特率发生器才被切断。当检测到一条空闲线路时, UCIDLE 就置位。

在一个空闲周期之后接收的第一个字符是地址字符。UCIDLE 位被用作每个字符块的地址标签。在线路空闲多处理器模式下, 当接收的一个字符是一个地址时该位就会被置 1。

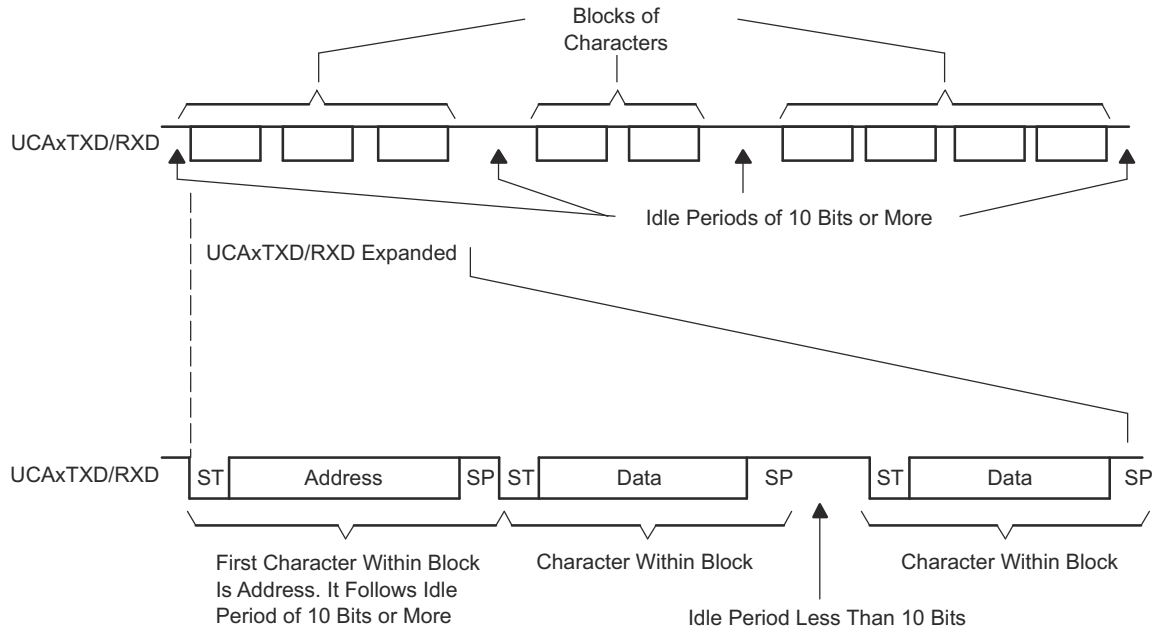


图 15-3. 空闲线格式

在多处理器模式下的 UCDORM 位被用于控制数据接收。当 UCDORM=1 时，所有非地址字符被拼装起来但不会被移送到 UCAxRXBUF，也不会产生中断。当接收到地址字符时，该字符被传送到 UCAxRXBUF，会设置 UCAxRXIFG，并且在 UCRXEIE = 1 时会设置任何适用的错误标志。当 UCRXEIE=0 并且接收到一个地址字符，但该字符发生了帧错误或奇偶错误，字符不会被移送到 UCAxRXBUF，UCRXIFG 也不会置位。

如果接收到一个地址，用户软件可以验证此地址且必须复位 UCDORM 才可以继续接收数据。如果 UCDORM 保持置位，将只能接收地址字符。在接收一个字符期间若 UCDORM 被清零，则在接收完成后接收中断标志将被置位。UCDORM 位不会被 USCI 硬件自动修改。

对在空闲线多处理器模式下发送地址而言，在 UCAxTXD 上产生地址字符标识的 USCI 会产生一个精确的空闲周期。如果下一个字符先于 11 位的空闲线被载入 UCAxTXBUF，这将通过双缓存 UCTXADDR 标志展示出来。当开始位发生时 UCTXADDR 将被自动清零。

15.3.3.2 发送一个空闲帧

以下程序通过发送一个空闲帧来表示一个地址字符及随后其关联的数据：

1. 置位 UCTXADDR，然后把地址字符写入 UCAxTXBUF。UCAxTXBUF 必须为新数据做好准备 (UCAxTXIFG=1)。

这可以产生一个地址字符之后的 11 位空闲周期。当地址字符从 UCAxTXBUF 中传输到移位寄存器时，UCTXADDR 自动复位。

2. 在 UCAxTXBUF 中写入预期数据。UCAxTXBUF 必须为新数据做好准备 (UCAxTXIFG=1)。

写入 UCAxTXBUF 中的数据被传输到移位寄存器中并且一旦移位寄存器为新数据做好准备就开始发送。

空闲周期不能超过地址和数据传输之间或者数据和数据传输的时间。否则传输的数据将被误解为一个地址。

15.3.3.3 地址位多处理器格式

当 UCMODEx=10 时，地址位多处理器格式被选中。如图 15-4 所示，每个已处理的字符包含一个用作一个地址指示的额外位。一个字符块的第一个字符带有一组指示字符是一个地址的地址位。当一个接收到的字符有其自身的地址位组并被转移到 UCAxRXBUF 时，USCI UCADDR 位被置位。

在地址位多处理器模式下，UCDORM 位被用于控制数据接收。当 UCDORM 被置 1，地址位=0 的数据字符被接收器组装但，不会传输到 UCAxRXBUF 中，且没有产生中断。当接收到包含一个设置地址位的字符时，该字符被

传送到 UCAxRXBUF, 会设置 UCAxRXIFG, 并且在 UCRXEIE = 1 时会设置任何适用的错误标志。当 UCRXEIE=0 并且接收到一个包含一组地址位的字符, 但该字符发生了帧错误或奇偶错误, 字符不会被移送到 UCAxRXBUF, UCRXIFG 也不会置位。

如果接收到一个地址, 用户软件可以验证此地址且必须复位 UCDORM 才可以继续接收数。如果 UCDORM 保持置位, 将只能接收地址位=1 的地址字符。UCDORM 位不会被 USCI 硬件自动修改。

当 UCDORM=0 时所有已接收的字符将置位中断标志 UCAxRXIFG。在接收一个字符期间若 UCDORM 被清零, 则在接收完成后接收中断标志将被置位。

对于在地址位多处理器模式下的地址传输, 字符的地址位是由 UCTXADDR 位控制。UCTXADDR 位的值被载进被从 UCAxTXBUF 传送到发送移位寄存器中的字符的地址位。当开始位发生时 UCTXADDR 将被自动清零。

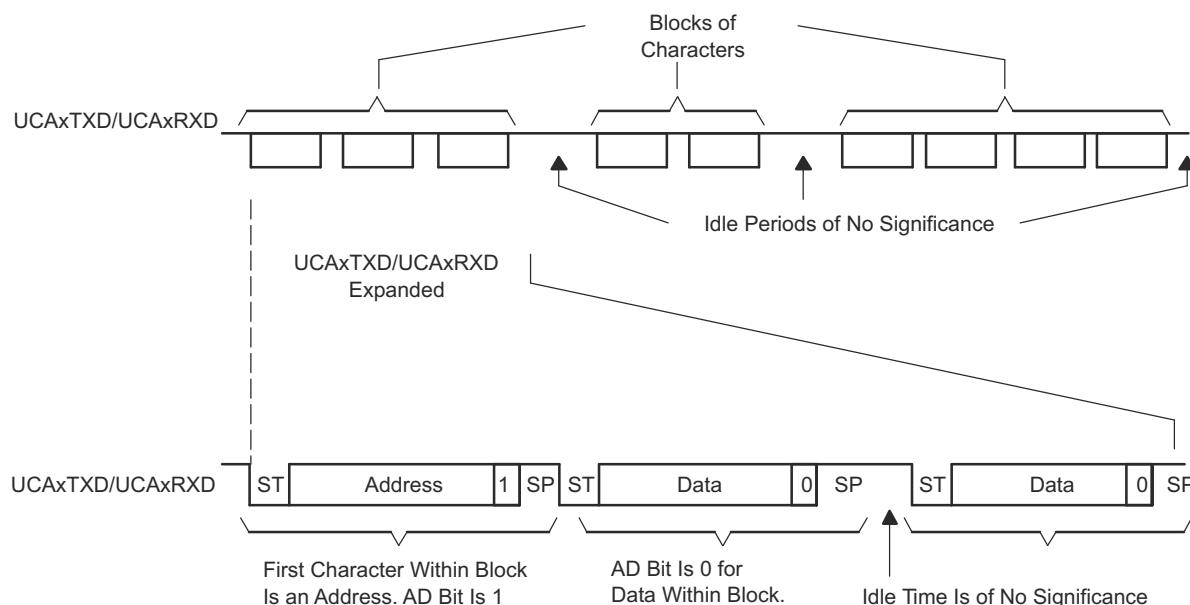


图 15-4. 地址位多处理器格式

15.3.3.4 中断接收和生成

当 UCMODEX=00, 01 或 10 时, 且不考虑奇偶位, 地址模式, 或其它字符值, 当所有数据, 奇偶校验, 停止位都为低电平时, 接收器在监测到一次中断。当监测到一次中断时, UCBRK 位置位。如果中断的中断使能位, UCBRKIE, 被置位, 接收中断标志 UCAxRXIFG 也将被置位。在这种情况下, 因为所有数据位是 0 所以 UCAxRXBUF 中的值也是 0。

为了发送一个中断, 置位 UCTXBRK 位, 然后把 0h 写到 UCAxTXBUF 中。UCAxTXBUF 必须为新数据做好准备 (UCAxTXIFG=1)。在所有位为低电平时会产生一个中断。当开始位发生时 UCTXBRK 将被自动清零。

15.3.4 自动波特率检测

当 UCMODEx=11 时, 选择了带自动波特率检测的 UART 模式。对于自动波特率检测, 数据帧在一个包含一个中断和一个同步域的同步序列的前面。当 11 个或更多的 0 (空格) 被接收到时监测到一个中断。如果中断长度超过 22 位的时间, 暂停超时错误标志 UCBTOE 将被置位。暂停的异步域如图 15-5 所示。

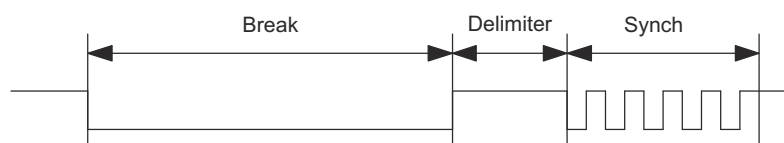


图 15-5. 自动波特率监测-暂停/同步序列

为了 LIN 一致字符格式应该设置为 8 数据位, LSB 优先, 无奇偶校验位和停止位。没有可用的地址位。

在一个字节域内同步域所包含的数据 055H 如图 15-6 所示。同步的是基于该模式的第一个下降沿和最后一个下降沿之间的时间测量。如果自动波特率监测通过置位 UCABDEN 使能, 发送波特率发生器就可以用于测量。否则, 这个模式只被接收但不被测量。测量的结果被传送到波特率控制寄存器 UCAXBR0, UCAXBR1, 和 UCAXMCTL 中。如果同步域的长度超过了测量时间, 同步超时错误标志 UCSTOE 将被置位。

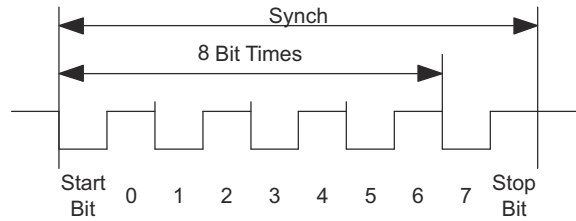


图 15-6. 自动波特率监测-同步域

在这种模式中 UCDORM 位被用来控制数据接收。当 UCDORM 被置位时, 所有字符被接收但不会被传输到 UCAXRXBUF 中, 而且不会发生中断。当一个中断/同步域被监测到时, UCBRK 标志被置位。随后的中断/同步域的字符被传送到 UCAXRXBUF 中且 UCAXRXIFG 中断标志被置位。任何可用的错误标志也会置位。如果 UCBRKIE 位被置位, 中断/同步的接收会置位 UCAXRXIFG。通过读取接收缓存 UCAXRXBUF, 或通过用户软件来置位 UCBRK 位。

当一个中断/同步域被接收时, 为继续接收数据用户必须用软件置位 UCDORM。如果 UCDORM 保持置位状态, 只有在接受下一个中断/同步域后字符才能被接收。UCDORM 位不会被 USCI 硬件自动修改。

当 UCDORM=0 时所有已接收的字符将置位中断标志 UCAXRXIFG。在接收一个字符期间若 UCDORM 被清零, 则在接收完成后接收中断标志将被置位。

可以在一个带有一些限制的全双工通信系统中使用自动波特率检测模式。USCI 可以在接收中断/同步域期间不发送数据, 并且如果一个帧错误字节 0h 被接收, 那么在这段时间内任何传输的数据都会被损坏。可以通过检查所接收的数据和 UCFE 位来发现后一种情况。

15.3.4.1 发送一个中断/同步域

以下为发送一个中断/同步域的程序流程：

- 在 UMODEX=11 时，将 UCTXBRK 置 1。
- 把 055h 写入 UCAXTXBUF。UCAXTXBUF 必须为新数据做好准备 (UCAXTXIFG=1)。

伴随着中断分割符和同步字符将会产生一个 13 位的中断域。中断定界符的长度由 UCDELIMX 位控制。当同步字符从 UCAXTXBUF 传输到移位寄存器中时 UCTXBRK 将自动复位。

- 在 UCAXTXBUF 中写入所需的数据。UCAXTXBUF 必须为新数据做好准备 (UCAXTXIFG=1)。

写入 UCAXTXBUF 中的数据被传输到移位寄存器中并且一旦移位寄存器为新数据做好准备就开始发送。

15.3.5 IrDA 编码和解码

当 UCIREN 被置位时，IrDA 解码器和译码器被使能并提供修整 IrDA 通信的硬件位。

15.3.5.1 IrDA 编码

如图 15-7 所示，在来自 UART 的发送位流中译码器为每个 0 位发送一个脉冲。脉冲持续时间由 UCIRTXPLx 位决定，来指定被 UCIRTXCLK 选中的半个时钟周期的数目。

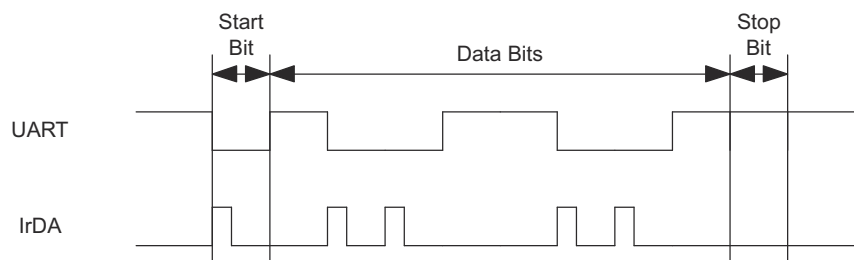


图 15-7. UART 与 IrDA 数据格式的关系

要求根据 IrDA 标准去设置 3/16 位的周期脉冲，通过置 UCIRTXCLK=1 来选中 BITCLK16 时钟，且脉冲长度由 UCIRTXPLx=6-1=5 来设置为 6 个半时钟循环。

当 UCIRTXCLK=0 时，基于 BRCLK 的脉冲长度 $t_{\text{脉冲}}$ 由以下公式计算：

$$UCIRTXPLx = t_{\text{PULSE}} \times 2 \times f_{\text{BRCLK}} - 1$$

当脉冲长度是基于 BRCLK 的时，计数器 UCBRx 必须被设置成一个大于或等于 5 的值。

15.3.5.2 IrDA 解码

当 UCIRRXPL = 0 时，解码器检测到高脉冲。否则就监测到低脉冲。除模拟抗尖峰脉冲滤波器外，额外的可编程数字滤波器阶段也能通过设置 UCIRRXFE 来是使能。当 UCIRRXFE 被置位时，只有比可编程滤波器长的脉冲才能通过。较短脉冲被丢弃。编程滤波器长度 UCIRRXFLx 的方程式如下：

$$UCIRRXFLx = (t_{\text{PULSE}} - t_{\text{WAKE}}) \times 2 \times f_{\text{BRCLK}} - 4$$

其中，

t_{PULSE} = 最小接收脉冲持续时间

t_{WAKE} = 从任何低功耗模式中唤醒。当 MSP430 处于活动模式时为 0。

备注**可靠接收 IrDA 信号**

若要可靠地接收传入的 IrDA 信号，请确保至少执行以下过程之一：

- 通过设置 **UCIRRXFE = 1** 来启用数字滤波器级。
 - 使用奇偶校验位来检测损坏的字节。
 - 使用校验和或 **CRC** 来检查接收到的数据帧的正确性。
 - 通过奇偶校验或 **CRC** 校验，使用一种协议来确认接收到的数据帧并在发送方未收到确认时重新发送数据。
-

15.3.6 自动错误检测

毛刺抑制会阻止 USCI 的突然启动。在 UCAXRXD 上的任何小于抗尖峰脉冲时间 t_{τ} (大约 150NS) 的脉冲都被忽略。有关参数请参阅《器件专用数据表》。

当在 UCAXRXD 上的一个低电平周期超过 t_{τ} 时,多数票决都会被当作开始位。如果多数票决没有监测到一个有效的开始位,USCI 将暂停字符接收同时等待 UCAXRXD 上的下一个低电平周期。多数票决也用于一个字符的每个位来防止位错误。

当接收字符时,USCI 模块自动监测帧错误,奇偶校验错误,溢出错误,以及中断条件。在各自的情况被监测到时,UCFE,UCPE,UCOE,以及 UCBRK 位被置位。当 UCFE,UCPE 或 UCOE 错误标志被置位时,UCRXERR 也被置位。在表 15-1 中描述了错误条件。

表 15-1. 接收错误条件

错误条件	错误标志	说明
组帧错误	UCFE	当一个低电平停止位被监测到时发生一个组帧错误。当使用两个停止位时,这两个位都会被检查是否有组帧错误。当检测到一个组帧错误时,UCFE 位被置 1。
奇偶校验错误	UCPE	一个奇偶校验错误是一个字符中 1 的个数和奇偶校验位的值之间的一个不匹配。当地址位被包含在字符中时,它被包含在奇偶校验计算中。当监测到一个奇偶错误时,UCPE 位被置 1。
接收溢出	UCOE	当在读出前一个字符之前一个字符被载入 UCAXRXBUF 中时,会引发一个溢出错误。当溢出错误发生时,UCOE 位被置 1。
中断条件	UCBRK	当不使用自动波特率监测时,在所有数据,奇偶校验,和停止位为低电平时,监测到一个中断。当监测到一次中断条件时,UCBRK 位置位。如果暂停中断使能 UCBRKIE 位被置位,一个中断条件也可以置位其中断标志 UCAXRXIFG。

当 UCRXEIE=0 时且监测到一个帧错误,或奇偶校验错误时,不会有字符被接收到 UCAXRXBUF 中。当 UCRXEIE=1 时,字符被接收到 UCAXRXBUF 中且任何适用的错误位被置位。

当 UCFE,UCPE,UCOE,UCBRK,或 UCRXEER 被置位时,该位一直保持到用户用软件复位或 UCAXRXBUF 被读出。UCOE 必须通过读取 UCAXRXBUF 复位。否则,它将不能正常工作。为了可靠地检测溢出,建议使用以下流程。在一个字符被接收且 UCAXRXIFG 被置位后,首先读取 UCAXSTAT 来检查包括溢出标志 UCOE 在内的错误标志。接下来读取 UCAXRXBUF。如果 UCAXRXBUF 在 UCAXSTAT 和 UCAXRXBUF 的读取访问之间被覆写,则除了 UCOE 以外的所有错误标志都会被清零。为了检测这个条件,在读完 UCAXRXBUF 后应该检查 UCOE 标志。注意,在这种情况下,UCRXERR 标志不会被置位。

15.3.7 USCI 接收使能

通过清零 UCSWRST 位可以使能 USCI 模块,接收端准备就绪且处于一个空闲状态。接收波特率发生器处于准备状态但是不计时也不产生任何时钟。

开始位的下降沿使能波特率发生器同时 UART 状态机检查一个有效的开始位。如果没有监测到有效的开始位,UART 状态机返回到其空闲状态且波特率发生器再次被关掉。如果一个有效的开始位被监测到,一个字符就能被接收。

UCMODEX=01,当空闲线多处理器模式被选中时,UART 状态机在接收一个字符后检查空闲线。如果监测到一个开始位,则另一个字符会被接收。否则在接收 10 个字符后 UCIDLE 标志会被置位,同时 UART 状态机返回到空闲态且波特率发生器被关掉。

15.3.7.1 接收数据毛刺脉冲抑制

毛刺脉冲抑制会阻止 USCI 的突然启动。在 UCAXRXD 上的任何小于去毛刺脉冲时间 t_r (大约 150NS) 的脉冲都被 USCI 忽略, 同时进一步的行为会发生, 如图 15-8 所示。有关参数请参阅《器件专用数据表》。

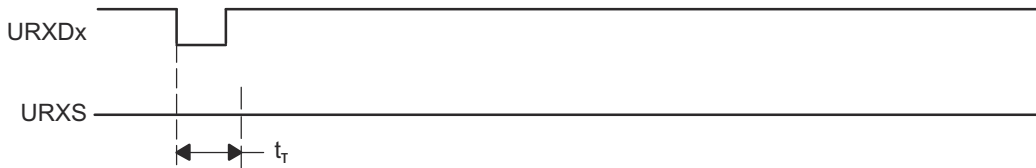


图 15-8. 去毛刺脉冲抑制, USCI 接收未开始

当一个毛刺脉冲时间大于 t_r 或一个有效的开始位发生在 UCAXRXD 上时, USCI 接收操作开始, 在图 15-9 中给出了多数票决。如果绝大多数表决没有监测到一个开始位, USCI 将停止字符的接收。

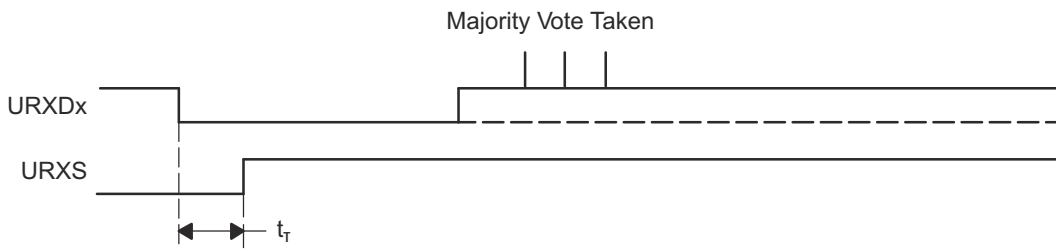


图 15-9. 毛刺脉冲抑制, USCI 启动

15.3.8 USCI 发送使能

通过清零 UCSWRST 位可以使能 USCI 模块, 发送端准备就绪且处于一个空闲状态。接收波特率发生器处于准备状态但是不被计时也不产生任何时钟。

通过把数据写入 UCAXTXBUF 中来初始化一次传输。当这发生后, 波特率发生器被使能, 在发送移位寄存器为空后, 在下一个 BITCLK 周期 UCAXTXBUF 中的数据就被移到发送移位寄存器。当新数据被写入 UCAXTXBUF 时 UCAXTXIFG 被置位。

在前一个字节发送结束时, 只要在 UCAXTXBUF 中的新数据有用, 发送就会持续进行。在前一个字节已发送时, 如果在 UCAXTXBUF 中没有新数据, 发送器就返回到空闲态并且波特率发生器被关掉。

15.3.9 UART 波特率生成

USCI 波特率发生器能从非标准源频率中产生一个标准的波特率。它通过 UCOS16 位提供了两种操作模式。

15.3.9.1 低频率波特率生成

当 UCOS16=0 时, 低频模式被选中。这种模式允许波特率从低频时钟源中产生 (比如, 一个 32768Hz 晶振产生一个 9600 波特率)。通过使用一个较低的输入频率, 能减少模块的能量消耗。通过使用这种模式, 更高频率和更高预分频器的设置将导致在一个不断增加的小窗口中绝大多数表决采用, 这样就降低了绝大多数表决的优势。

在低频模式中波特率发生器使用一个预分频器和一个调节器产生位时钟时序。这种组合支持波特率生成的分数除数。在这种模式下, 最大的 USCI 波特率是时钟源频率的 1/3。

在图 15-10 中给出了每一位的时序。对于接收到的每一位, 采用了一个绝大多数表决来决定位值。这些采样发生在 $N/2-1/2$, $N/2$, 和 $N/2+1/2$ BRCLK 周期, 其中 N 是每个 BITCLK 周期中 BRCLK 的数目。

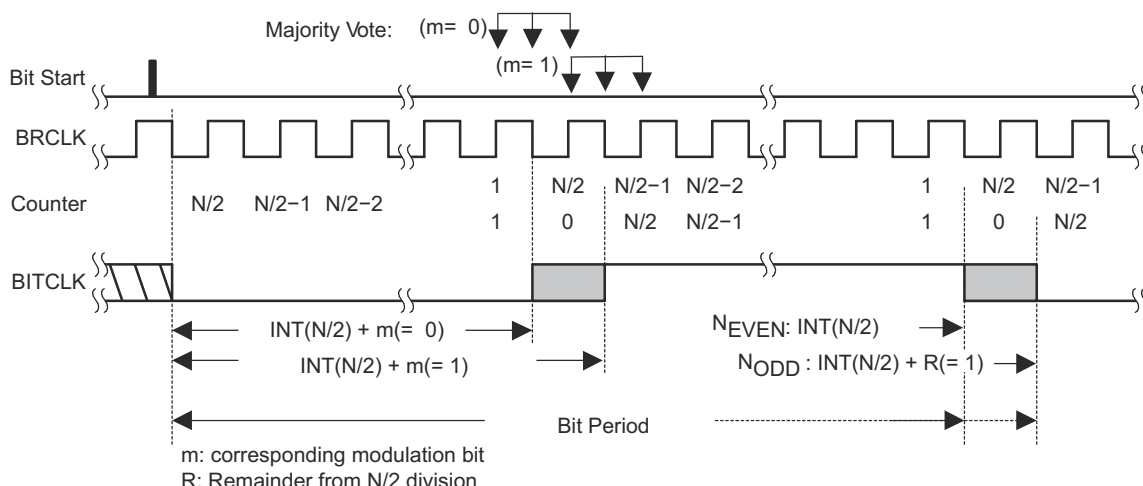


图 15-10. BITCLK 波特率用 UCOS16=0 定时

基于 UCBRSX 设置的调制如表 15-2 所示。表中的一个 1 表示 $m=1$ 且相应的 BITCLK 周期是一个比 $m=0$ 时的 BITCLK 周期长的 BRCLK 周期。在 8 位后，调制互相环绕但是随着每一个新的开始位会重新启动。

表 15-2. BITCLK 的调制模式

UCBRSx	位 0 (开始位)	位 1	位 2	位 3	位 4	位 5	位 6	位 7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	1	0	0
3	0	1	0	1	0	1	0	0
4	0	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	1	1	0	1	0	1
6	0	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1

15.3.9.2 过采样波特率生成

当 UCOS16=1 时选择过采样模式。该模式支持采样一个输入时钟频率较高的 UART 位流。这就导致大数票决总是一个位时钟周期的 1/16 的结果。当 IrDA 编码器和解码器被使能时，这种模式也很容易支持 3/16 位时间的 IrDA 脉冲。

该模式使用一个预分频器和调制器来产生比 BITCLK 快 16 倍的 BITCLK16。一个额外的分频器和调制器级从 BITCLK16 中产生 BITCLK。波特率产生该组合支持 BITCLK16 和 BITCLK。在这种模式下，最大 USCI 波特率是 UART 源时钟频率 BRCLK 的 1/16。当 UCBRx 被设置为 0 或 1 时，预分频器和调制器第一个阶段被旁路且 BRCLK 等于 BITCLK16。

在表 15-3 中给出了基于 UCBRFx 设置的 BITCLK16 的调制。表中的 1 表示相应的 BITCLK16 周期比周期 $m = 0$ 长一个 BRCLK 周期。用每一个新的位定时重新启动调制。

在表 15-2 中给出了如先前所述的基于 UCBRSx 设置的 BITCLK 调制。

表 15-3. BITCLK 的调制模式

UCBRFx	最后一个 BITCLK 下降沿后的 BITCLK16 时钟数															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
00h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01h	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02h	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表 15-3. BITCLK 的调制模式 (continued)

UCBRFx	最后一个 BITCLK 下降沿后的 BITCLK16 时钟数															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
03h	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04h	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
05h	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
06h	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
07h	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
08h	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
09h	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0Ah	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0Bh	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0Ch	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0Dh	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
0Eh	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0Fh	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

15.3.10 设置一个波特率

对于一个给定的 BRCLK 时钟源, 使用的波特率决定了所需的除法因子 N:

$$N = \frac{f_{BRCLK}}{\text{Baud rate}}$$

除发因子 N 通常不是一个整数值, 因此至少需要一个除法器和一个调制器阶段尽可能的接近该因子。

如果 N 等于或大于 16, 可以通过设置 UCOS16 来选择过采样波特率产生模式。

15.3.10.1 低频波特率模式的设置

在低频模式下, 除数的整数部分是由预分频器实现的:

$$UCBRx = \text{INT}(N)$$

同时小数部分由调制器通过下面的公式实现:

$$UCBRSx = \text{round}((N - \text{INT}(N)) \times 8)$$

对于任何给定的位, 通过计算增加或减少 UCBRSX 设定可能会降低最大位误差。为了决定是否是一种情况, 在每一次 UCBRSx 的设定中必须对误差进行一个详细的计算。

15.3.10.2 过采样波特率模式的设置

在过采样模式中, 计数器被设置为:

$$UCBRx = \text{INT}\left(\frac{N}{16}\right)$$

且第一级调制器被设置为:

$$UCBRFx = \text{round}\left(\left(\frac{N}{16} - \text{INT}\left(\frac{N}{16}\right)\right) \times 16\right)$$

当需要更高的精度时, 也可以使用 0 至 7 的值来实现 UCBRSx 调制器。为了对任何给定位的在最坏情况下的最大误差进行查明, 须通过初始化 UCBRSx 设置和 UCBRSx 的设置递增和递减一, 对 UCBRSX 所有设置的 0 至 7 位的误差进行一个详细的计算。

15.3.11 发送位时序

每个字符的时序是单个位时序的总和。使用波特率发生器的调节特性可以减少累计的位误差。可以通过以下的步骤计算出单个位误差。

15.3.11.1 低频波特率模式位时序

在低频模式模式中，计算位 i 的位长度， $T_{TX}[i]$ 是基于 $UCBRx$ 和 $UCBRSx$ 的设置。

$$T_{bit,TX}[i] = \frac{1}{f_{BRCLK}} (UCBRx + m_{UCBRSx}[i])$$

其中，

$m_{UCBRSx}[i]$ = 表 15-2 中位 i 的调制

15.3.11.2 过采样波特率模式位时序

在过采样波特率模式中，计算位 i 的位长度， $T_{TX}[i]$ 是基于波特率发生器 $UCBRx$ ， $UCBRFx$ 和 $UCBRSx$ 的设置。

$$T_{bit,TX}[i] = \frac{1}{f_{BRCLK}} \left((16 + m_{UCBRSx}[i]) \times UCBRx + \sum_{j=0}^{15} m_{UCBRFx}[j] \right)$$

其中，

$$\sum_{j=0}^{15} m_{UCBRFx}[j] = \text{表 15-3 的相应行中 1 的总和。}$$

$m_{UCBRSx}[i]$ = 表 15-2 中位 i 的调制

这导致了一个结束位时间 $t_{TX}[i]$ 等于所有以前的和当前位的时间：

$$t_{bit,TX}[i] = \sum_{j=0}^i T_{bit,TX}[j]$$

为了计算位误差，时间和理想位时间 $t_{bit,理想}[i]$ ：

$$t_{bit,ideal,TX}[i] = \frac{1}{\text{Baud rate}} (i + 1)$$

这会生成归一化为一个理想位时间 (1/波特率) 的误差：

$$\text{Error}_{TX}[i] = (t_{bit,TX}[i] - t_{bit,ideal,TX}[i]) \times \text{波特率} \times 100\%$$

15.3.12 接收位时序

接收时序误差包括两个误差源。第一个是位到位的时序误差，与发送位时序误差相似。第二个是开始边沿出现与 USCI 模块接受开始边沿之间的误差。图 15-11 中所示的是介于 $UCAxRXD$ 脚上的数据和内部波特率时钟之间的异步时钟误差。这导致一个另外的异步误差。异步误差 $t_{异步}$ 介于 $-0.5BRCLKS$ 和 $+0.5BRCLKS$ 之间。该误差取决于所选择的波特率发生模式。

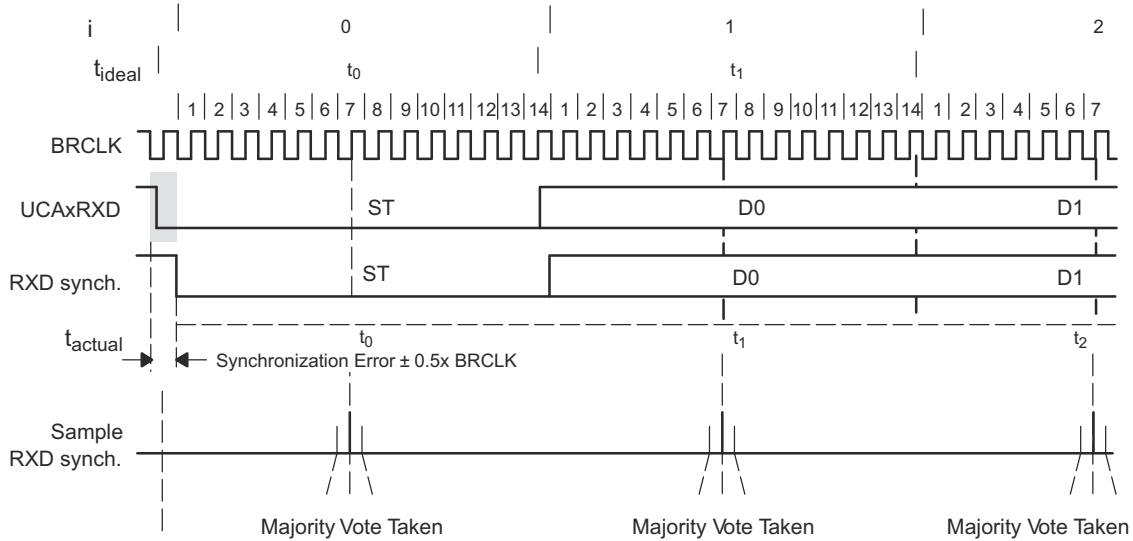


图 15-11. 接收错误

理想的采样时间是在一个位周期的中间：

$$t_{bit,ideal,RX[i]} = \frac{1}{\text{Baud rate}} (i + 0.5)$$

真实采样时间等于先前所有位的总和，根据在发送时序部分给出的公式，加上当前位 i 的 $1/2$ 个 BITCLK，加上异步误差 $t_{异步}$ 。

对于低频波特率模式结果如下：

$$t_{bit,RX[i]} = t_{SYNC} + \sum_{j=0}^{i-1} T_{bit,RX[j]} + \frac{1}{f_{BRCLK}} \left(\text{INT} \left(\frac{1}{2} UCBRx \right) + m_{UCBRSx[i]} \right)$$

其中，

$$T_{bit,RX[i]} = \frac{1}{f_{BRCLK}} (UCBRx + m_{UCBRSx[i]})$$

$m_{UCBRSx[i]}$ = 表 15-2 中位 i 的调制

对于过采样波特率模式，位 i 采样时间由以下公式计算：

$$t_{bit,RX[i]} = t_{SYNC} + \sum_{j=0}^{i-1} T_{bit,RX[j]} + \frac{1}{f_{BRCLK}} \left((8 + m_{UCBRSx[i]}) \times UCBRx + \sum_{j=0}^{7+m_{UCBRSx[i]}} m_{UCBRFx[j]} \right)$$

其中，

$$T_{bit,RX[i]} = \frac{1}{f_{BRCLK}} \left((16 + m_{UCBRSx[i]}) \times UCBRx + \sum_{j=0}^{15} m_{UCBRFx[j]} \right)$$

$$\sum_{j=0}^{7+m_{UCBRSx[i]}} m_{UCBRFx[j]} = \text{表 15-3 相应行的列 0 中 1 的总和。}$$

$m_{UCBRSx[i]}$ = 表 15-2 中位 i 的调制

这会生成以下公式生成归一化为一个理想位时间 ($1/\text{波特率}$) 的误差：

$$\text{Error}_{\text{RX}}[i] = (t_{\text{bit,RX}}[i] - t_{\text{bit,ideal,RX}}[i]) \times \text{波特率} \times 100\%$$

15.3.13 典型的波特率和错误

对于一个使用 32768HZ 的晶振源 ACLK 和典型的 SMCLK 频率, 在表 15-4 和表 15-5 中列出了 UCBSx 和 UCBRFx 的标准波特率数据。要确保所选 BRCLK 频率不超过特定器件的最大 USCI 输入频率 (请参阅《特定器件的数据手册》)。

相对于在每位中间的理想扫描时间, 接收错误是累积时间错误。为一个带奇偶校验的 8 位字符的接收和一个包括同步误差的停止位给出定了最糟糕的错误。

相对于理想位周期时间, 发送错误是时间累积错误为一个带奇偶校验的 8 位字符的发送和一个停止位给出定了最严重的错误。

表 15-4. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16= 0

BRCLK 频率 [Hz]	波特率[波特]	UCBRx	UCBSx	UCBRFx	最大 TX 错误[%]		最大 RX 错误[%]	
32,768	1200	27	2	0	-2.8	1.4	-5.9	2.0
32,768	2400	13	6	0	-4.8	6.0	-9.7	8.3
32,768	4800	6	7	0	-12.1	5.7	-13.4	19.0
32,768	9600	3	3	0	-21.1	15.2	-44.3	21.3
1,048,576	9600	109	2	0	-0.2	0.7	-1.0	0.8
1,048,576	19200	54	5	0	-1.1	1.0	-1.5	2.5
1,048,576	38400	27	2	0	-2.8	1.4	-5.9	2.0
1,048,576	56000	18	6	0	-3.9	1.1	-4.6	5.7
1,048,576	115200	9	1	0Ω	-1.1	10.7	-11.5	11.3
1,048,576	128000	8	1	0Ω	-8.9	7.5	-13.8	14.8
1,048,576	256000	4	1	0Ω	-2.3	25.4	-13.4	38.8
1,000,000	9600	104	1	0Ω	-0.5	0.6	-0.9	1.2
1,000,000	19200	52	0	0	-1.8	0	-2.6	0.9
1,000,000	38400	26	0	0	-1.8	0	-3.6	1.8
1,000,000	56000	17	7	0	-4.8	0.8	-8.0	3.2
1,000,000	115200	8	6	0	-7.8	6.4	-9.7	16.1
1,000,000	128000	7	7	0	-10.4	6.4	-18.0	11.6
1,000,000	256000	3	7	0	-29.6	0	-43.6	5.2
4,000,000	9600	416	6	0	-0.2	0.2	-0.2	0.4
4,000,000	19200	208	3	0	-0.2	0.5	-0.3	0.8
4,000,000	38400	104	1	0Ω	-0.5	0.6	-0.9	1.2
4,000,000	56000	71	4	0	-0.6	1.0	-1.7	1.3
4,000,000	115200	34	6	0	-2.1	0.6	-2.5	3.1
4,000,000	128000	31	2	0	-0.8	1.6	-3.6	2.0
4,000,000	256000	15	5	0	-4.0	3.2	-8.4	5.2
8,000,000	9600	833	2	0	-0.1	0	-0.2	0.1
8,000,000	19200	416	6	0	-0.2	0.2	-0.2	0.4
8,000,000	38400	208	3	0	-0.2	0.5	-0.3	0.8
8,000,000	56000	142	7	0	-0.6	0.1	-0.7	0.8
8,000,000	115200	69	4	0	-0.6	0.8	-1.8	1.1
8,000,000	128000	62	4	0	-0.8	0	-1.2	1.2
8,000,000	256000	31	2	0	-0.8	1.6	-3.6	2.0
12,000,000	9600	1250	0	0	0	0	-0.05	0.05
12,000,000	19200	625	0	0	0	0	-0.2	0

表 15-4. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16= 0 (continued)

BRCLK 频率 [Hz]	波特率[波特]	UCBRx	UCBRSx	UCBRFx	最大 TX 错误[%]		最大 RX 错误[%]	
12,000,000	38400	312	4	0	-0.2	0	-0.2	0.2
12,000,000	56000	214	2	0	-0.3	0.2	-0.4	0.5
12,000,000	115200	104	1	0 Ω	-0.5	0.6	-0.9	1.2
12,000,000	128000	93	6	0	-0.8	0	-1.5	0.4
12,000,000	256000	46	7	0	-1.9	0	-2.0	2.0
16,000,000	9600	1666	6	0	-0.05	0.05	-0.05	0.1
16,000,000	19200	833	2	0	-0.1	0.05	-0.2	0.1
16,000,000	38400	416	6	0	-0.2	0.2	-0.2	0.4
16,000,000	56000	285	6	0	-0.3	0.1	-0.5	0.2
16,000,000	115200	138	7	0	-0.7	0	-0.8	0.6
16,000,000	128000	125	0	0	0	0	-0.8	0
16,000,000	256000	62	4	0	-0.8	0	-1.2	1.2

表 15-5. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16=1

BRCLK 频率 [Hz]	波特率[波特]	UCBRx	UCBRSx	UCBRFx	最大 TX 错误[%]		最大 RX 错误[%]	
1,048,576	9600	6	0	13	-2.3	0	-2.2	0.8
1,048,576	19200	3	1	6	-4.6	3.2	-5.0	4.7
1,000,000	9600	6	0	8	-1.8	0	-2.2	0.4
1,000,000	19200	3	0	4	-1.8	0	-2.6	0.9
1,000,000	57600	1	7	0	-34.4	0	-33.4	0
4,000,000	9600	26	0	1	0 Ω	0.9	0	1.1
4,000,000	19200	13	0	0	-1.8	0	-1.9	0.2
4,000,000	38400	6	0	8	-1.8	0	-2.2	0.4
4,000,000	57600	4	5	3	-3.5	3.2	-1.8	6.4
4,000,000	115200	2	3	2	-2.1	4.8	-2.5	7.3
4,000,000	230400	1	7	0	-34.4	0	-33.4	0
8,000,000	9600	52	0	1	-0.4	0	-0.4	0.1
8,000,000	19200	26	0	1	0 Ω	0.9	0	1.1
8,000,000	38400	13	0	0	-1.8	0	-1.9	0.2
8,000,000	57600	8	0	11	0	0.88	0	1.6
8,000,000	115200	4	5	3	-3.5	3.2	-1.8	6.4
8,000,000	230400	2	3	2	-2.1	4.8	-2.5	7.3
8,000,000	460800	1	7	0	-34.4	0	-33.4	0
12,000,000	9600	78	0	2	0	0	-0.05	0.05
12,000,000	19200	39	0	1	0	0	0	0.2
12,000,000	38400	19	0	8	-1.8	0	-1.8	0.1
12,000,000	57600	13	0	0	-1.8	0	-1.9	0.2
12,000,000	115200	6	0	8	-1.8	0	-2.2	0.4
12,000,000	230400	3	0	4	-1.8	0	-2.6	0.9
16,000,000	9600	104	0	3	0	0.2	0	0.3
16,000,000	19200	52	0	1	-0.4	0	-0.4	0.1
16,000,000	38400	26	0	1	0 Ω	0.9	0	1.1
16,000,000	57600	17	0	6	0	0.9	-0.1	1.0
16,000,000	115200	8	0	11	0	0.9	0	1.6

表 15-5. 常用波特率, 设置, 和错误, UCOS16=1 (continued)

BRCLK 频率 [Hz]	波特率[波特]	UCBRx	UCBR5x	UCBRFx	最大 TX 错误[%]		最大 RX 错误[%]	
16,000,000	230400	4	5	3	-3.5	3.2	-1.8	6.4
16,000,000	460800	2	3	2	-2.1	4.8	-2.5	7.3

15.3.14 在低功耗模式下 UART 模式中使用 USCI 模块

低功耗模式下, USCI 模块为 SMCLK 提供时钟自动激活。当 SMCLK 是 USCI 的时钟源并无效时, 由于器件处于一个低功耗模式, 如果需要, USCI 模块都可忽略时钟源控制位设置而自动激活。直到 USCI 模块回到其空闲状态, 时钟都会保持激活条件。USCI 模块恢复空闲条件后, 时钟源的控制权会恢复到其控制位的设置。不为时钟信号 (ACLK) 提供自动时钟激活。

当 USCI 模块激活一个无效的时钟源时, 该时钟源将为整个设备变得活跃, 并且这可能会影响到任何为了使用而被配置的外围设备时钟源。例如, 当 USCI 模块迫使 SMCLK 激活时, 一个使用 SMCLK 的定时器将递增。

15.3.15 USCI 中断

USCI 有一个发送中断向量和接收中断向量。

15.3.15.1 USCI 发送中断操作

UCAxTXIFG 中断标志被发送器置位以便表示 UCAxTXBUF 已准备好接收另一个字符。如果 UCAxTXIE 和 GIE 也被置位, 则将产生一个中断请求。如果一个字符被写入 UCAxTXBUF, 那么 UCAxTXIFG 将自动复位。

在 PUC 之后或 UCSWRST = 1 时 UCAxTXIFG 被置位。在一个 PUC 后或当 UCSWRST=1 时, UCAxTXIE 将复位。

15.3.15.2 USCI 接收中断操作

每当一个字符被接收并被载进 UCAxRXBUF 中, UCAxRXIFG 中断标志都会置位。如果 UCAxRXIE 和 GIE 也被置位, 就会产生一个中断请求。UCAxRXIFG 和 UCAxRXIE 由系统复位 PUC 信号进行复位, 或在 UCSWRST = 1 时复位。当 UCAxRXBUF 被读取时 UCAxRXIFG 自动复位。

其它中断控制特征包括:

- 当 UCAxRXEIE=0 时, 错误字符将不会置位 UCAxRXIFG。
- 在 UCDORM=1 时, 在多处理器模式下非地址字符不会置位 UCAxRXIFG。在普通 UART 模式, 没有字符置位 UCAxRXIFG。
- 当 UCBRKIE=1 时, 一个中断条件将置位 UCBRK 位和 UCAxRXIFG 标志。

15.3.15.3 USCI 中断用法

USCI_Ax 和 USCI_Bx 共用一个相同的中断向量。接收中断的标志 UCAxRXIFG 和 UCBxRXIFG 被路由到一个中断向量, 发送中断标志 UCAxTXIFG 和 UCBxTXIFG 共享另一个中断向量。

示例 15-1 说明一个中断服务子程序处理来自 UART 或 SPI 模式下的 USCI_A0 和在 SPI 模式下 USCI_B0 的数据接收中断的一段摘录。

示例 15-1. 共享中断向量的软件示例, 数据接收

```

USCIA0_RX_USCIB0_RX_ISR
    BIT.B #UCA0RXIFG, &IFG2 ; USCI_A0 Receive Interrupt?
    JNZ USCIA0_RX_ISR
USCIB0_RX_ISR?
    ; Read_UCB0RXBUF (clears UCB0RXIFG)
    ...
    RETI
USCIA0_RX_ISR
    ; Read_UCA0RXBUF (clears UCA0RXIFG)

```

```
...
RETI
```

示例 15-2 说明一个中断服务子程序处理来自 UART 或 SPI 模式下的 USCI_A0 和在 SPI 模式下 USCI_B0 的数据发送中断的一段摘录。

示例 15-2. 共享中断向量的软件示例, 数据发送

```
USCIA0_TX_USCIB0_TX_ISR
BIT.B #UCA0TXIFG, &IFG2 ; USCI_A0 Transmit Interrupt?
JNZ USCIA0_TX_ISR
USCIB0_TX_ISR
; Write UCB0TXBUF (clears UCB0TXIFG)
...
RETI
USCIA0_TX_ISR
; Write UCA0TXBUF (clears UCA0TXIFG)
...
RETI
```

15.4 USCI 寄存器 : UART 模式

表 15-6 列出了 UART 模式下 USCI_A0 和 USCI_A1 的存储器映射寄存器。

表 15-6. USCI_Ax 控制和状态寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
60h	UCA0CTL0	USCI_A0 控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.2
61h	UCA0CTL1	USCI_A0 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 15.4.3
62h	UCA0BR0	USCI_A0 波特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.4
63h	UCA0BR1	USCI_A0 波特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.4
64h	UCA0MCTL	USCI_A0 调制控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.6
65h	UCA0STAT	USCI_A0 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.7
66h	UCA0RXBUF	USCI_A0 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 15.4.8
67h	UCA0TXBUF	USCI_A0 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.9
5Dh	UCA0ABCTL	USCI_A0 自动波特率控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.12
5Eh	UCA0IRTCTL	USCI_A0 IrDA 发送控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.10
5Fh	UCA0IRRCTL	USCI_A0 IrDA 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.11
1h	IE2	SFR 中断使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.13
3h	IFG2	SFR 中断标志 2	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 15.4.14
D0h	UCA1CTL0	USCI_A1 控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.2
D1h	UCA1CTL1	USCI_A1 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 15.4.3
D2h	UCA1BR0	USCI_A1 波特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.4
D3h	UCA1BR1	USCI_A1 波特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.4
D4h	UCA1MCTL	USCI_A1 调制控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.6
D5h	UCA1STAT	USCI_A1 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.7
D6h	UCA1RXBUF	USCI_A1 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 15.4.8
D7h	UCA1TXBUF	USCI_A1 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.9
CDh	UCA1ABCTL	USCI_A1 自动波特率控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.12
CEh	UCA1IRTCTL	USCI_A1 IrDA 发送控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.10
CFh	UCA1IRRCTL	USCI_A1 IrDA 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.11
6h	UC1IE	USCI_A1/B1 中断启用	读取/写入	PUC 后为 00h	节 15.4.15
7h	UC1IFG	USCI_A1/B1 中断标志	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 15.4.16

备注

修改 SFR 位

为了避免修改其他模块的控制位, TI 建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令 (而非 MOV.B 或 CLR.B 指令) 来设置或清除 IEx 和 IFGx 位。

15.4.1 UCAxCTL0 寄存器

USCI_Ax 控制 0 寄存器

图 15-12 展示了 UCAxCTL0, 表 15-7 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-12. UCAxCTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCPEN	UCPAR	UCMSB	UC7BIT	UCSPB	UCMODEx		UCSYNC
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-7. UCAxCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UCPEN	R/W	0h	奇偶校验使能 0b = Parity disabled 1b = 奇偶校验被使能。产生的 (UCAxTXD) 和预期 (UCAxRXD) 的奇偶校验位。在地址位多处理器模式中, 地址位被包括在奇偶校验计算中。
6	UCPAR	R/W	0h	奇偶校验选择。奇偶校验被禁用时, UCPAR 不能使用。 0b = 奇校验 1b = 偶数校验
5	UCMSB	R/W	0h	MSB 优先选择。控制移位寄存器接收和发送的方向。 0b = 最低有效位有限 (LSB) 1b = MSB 首先
4	UC7BIT	R/W	0h	字符长度。选择 7 位或 8 位字符长度。 0b = 8 位数据 1b = 7 位数据
3	UCSPB	R/W	0h	停止位选择。停止位的个数。 0b = 一个停止位 1b = 两个停止位
2-1	UCMODEx	R/W	0h	USCI 模式。当 UCSYNC=0 时, UCMODEx 位选择异步模式。 00b = UART 模式 01b = 空闲线多处理器模式 10b = 地址位多处理器模式 11b = 具有自动波特率检测功能的 UART 模式
0	UCSYNC	R/W	0h	同步模式使能 0b = 异步模式 1b = 同步模式

15.4.2 UCAXCTL1 寄存器

USCI_Ax 控制 1 寄存器

图 15-13 展示了 UCAXCTL1, 表 15-8 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-13. UCAXCTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCSSELx		UCRXEIE	UCBRKIE	UCDORM	UCTXADDR	UCTXBRK	UCSWRST
rw - 0		rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 15-8. UCAXCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	UCSSELx	R/W	0h	USCI 时钟源选择。这些位选择 BRCLK 时钟源。 00b = UCLK 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = SMCLK
5	UCRXEIE	R/W	0h	接收错误的字符中断使能 0b = 拒绝错误字符且不设置 UCAXRXIFG 1b = 接收的错误字符将设置 UCAXRXIFG
4	UCBRKIE	R/W	0h	接收中断字符中断使能 0b = 接收的中断字符不设置 UCAXRXIFG。 1b = 接收的中断字符设置 UCAXRXIFG。
3	UCDORM	R/W	0h	休眠。使 USCI 进入休眠模式 0b = 没处于休眠状态。所有接收的字符都将置位 UCAXRXIFG。 1b = 休眠。只有被空闲线或地址位设置在前面的字符才会置位 UCAXRXIFG。在带有自动波特率检测的 UART 模式中, 只有一个中断和同步字段的组合才会置位 UCAXRXIFG。
2	UCTXADDR	R/W	0h	发送地址发送的下一帧将会被标记为取决于选择的多处理器模式的地址。 0b = 传输的下一个帧是数据 1b = 传输的下一个帧是地址
1	UCTXBRK	R/W	0h	发送中断。通过下一次写入发送缓冲器发送一个中断。在带有自动波特率检测的 UART 模式中, 必须将 055h 写入 UCAXTXBUF 以此来产生所需的中断/同步字段。否则, 必须将 0h 写入发送缓冲器。 0b = 传输的下一个帧不是中断 1b = 传输的下一个帧是中断或中断/同步
0	UCSWRST	R/W	1h	软件复位使能 0b = 禁用。释放 USCI 复位以便进行操作。 1b = 启用。在复位状态中 USCI 逻辑状态被保持。

15.4.3 UCAXBR0 寄存器

USCI_Ax 波特率控制 0 寄存器

图 15-14 展示了 UCAXBR0，表 15-9 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-14. UCAXBR0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBR0							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-9. UCAXBR0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBR0	R/W	0h	波特率发生器的时钟预分频器设置。(UCAXBR0 + UCAXBR1 × 256) 的 16 位值组成了分频值。

15.4.4 UCAXBR1 寄存器

USCI_Ax 波特率控制 1 寄存器

图 15-14 展示了 UCAXBR1，表 15-9 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-15. UCAXBR1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBR1							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-10. UCAXBR1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBR1	R/W	0h	波特率发生器的时钟预分频器设置。(UCAXBR0 + UCAXBR1 × 256) 的 16 位值组成了分频值。

15.4.5 UCAXMCTL 寄存器

USCI_Ax 调制控制寄存器

图 15-16 展示了 UCAXMCTL, 表 15-11 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-16. UCAXMCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBRFx				UCBRSx			UCOS16
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-11. UCAXMCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	UCBRFx	R/W	0h	第一调制阶段选择。当 UCOS16 = 1 时, 这些位决定了 BITCLK16 的调制模式。在 UCOS16=0 时忽略。表 15-3 展示了调制模式。
3-1	UCBRSx	R/W	0h	第二调制阶段选择。这些位决定了 BITCLK 的调制模式。表 15-2 展示了调制模式。
0	UCOS16	R/W	0h	过采样模式被启用 0b = 被禁用 1b = 被使能

15.4.6 UCAXSTAT 寄存器

USCI_Ax 状态寄存器

图 15-17 展示了 UCAXSTAT，表 15-12 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-17. UCAXSTAT 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCLISTEN	UCFE	UCOE	UCPE	UCBRK	UCRXERR	UCADDR UCIDLE	UCBUSY
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r-0

表 15-12. UCAXSTAT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UCLISTEN	R/W	0h	监听使能。UCLISTEN 位选择回路模式。 0b = 被禁用 1b = 被使能。UCAXTXD 被内部反馈到接收器。
6	UCFE	R/W	0h	帧错误标志 0b = 无错误 1b = 接收到的低停止位字符
5	UCOE	R/W	0h	溢出错误标志。当在之前的一个字符被读取前随后一个字符被传输到 UCAXRXBUF 时，该位被置 1。当 UCxRXBUF 被读取时，UCOE 被自动清除，而且 UCOE 绝不能用软件清除。否则，它将无法正常工作。 0b = 无错误 1b = 发生溢出错误
4	UCPE	R/W	0h	奇偶校验错误标志。当 UCPEN = 0 时，UCPE 被读取为 0。 0b = 无错误 1b = 接收到的具有奇偶校验错误的字符
3	UCBRK	R/W	0h	中断检测标志 0b = 无中断条件 1b = 间隔条件发生
2	UCRXERR	R/W	0h	接收错误标志。该位指示接收到的字符有误。当 UCRXERR=1 时，还会设置一个或多个错误标志 (UCFE、UCPE、UCOE)。当 UCAXRXBUF 被读取时，UCRXERR 被清除。 0b = 未检测到接收错误 1b = 检测到接收错误
1	UCADDR UCIDLE	R/W	0h	UCADDR：在地址位多处理器模式中接收到的地址 0b = 接收的字符是数据 1b = 接收的字符是地址 UCIDLE：在空闲线多处理器模式中检测到的空闲线路。 0b = 没有检测到空闲线路 1b = 检测到空闲线路
0	UCBUSY	R	0h	USCI 忙。该位表示一个发送或接收操作正在进行。 0b = USCI 处于非活动状态 1b = USCI 发送或接收

15.4.7 UCAXRXBUF 寄存器

USCI_Ax 接收缓冲寄存器

图 15-18 展示了 UCAXRXBUF, 表 15-13 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-18. UCAXRXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCRXBUFx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 15-13. UCAXRXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCRXBUFx	R	0h	接收数据缓冲是用户可以访问的, 并包含从接收移位寄存器那里最后接收到的字符。读取 UCAXRXBUF 复位接收错误位, UCADDR 或 UCIDLE 位, 和 UCAXRXIFG。在 7 位数据模式下, UCAXRXBUF 是 LSB 对齐的并且 MSB 总是复位。

15.4.8 UCAXTXBUF 寄存器

USCI_Ax 发送缓冲寄存器

图 15-19 展示了 UCAXTXBUF, 表 15-14 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-19. UCAXTXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCTXBUFx							
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

表 15-14. UCAXTXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCTXBUFx	R/W	0h	发送数据缓冲区是用户可以访问的并且保存有等待被转移到发送移位寄存器和 UCAXTXD 上传输的数据。写入到发送数据缓冲器清除 UCAXTXIFG。UCAXTXBUF 的 MSB 不用于 7 位数据且被复位。

15.4.9 UCAXIRTCTL 寄存器

USCI_Ax IrDA 发送控制寄存器

图 15-20 展示了 UCAXIRTCTL，表 15-15 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-20. UCAXIRTCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCIRTXPLx						UCIRTXCLK	UCIREN
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-15. UCAXIRTCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2	UCIRTXPLx	R/W	0h	发送脉冲长度。脉冲长度 $t_{\text{脉冲}} = (\text{UCIRTXPLx} + 1) / (2 \times f_{\text{IRTXCLK}})$
1	UCIRTXCLK	R/W	0h	IrDA 的发送脉冲时钟选择 0b = BRCLK 当 UCOS16 = 1 时 1b = BITCLK16。否则为 BRCLK。
0	UCIREN	R/W	0h	IrDA 编码器/解码器使能 0b = IrDA 编码器/解码器被禁用 1b = IrDA 编码器/解码器被启用

15.4.10 UCAXIRRCTL 寄存器

USCI_Ax IrDA 接收控制寄存器

图 15-21 展示了 UCAXIRRCTL，表 15-16 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-21. UCAXIRRCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCIRRFLx						UCIRRPL	UCIRRXFE
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 15-16. UCAXIRRCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2	UCIRRFLx	R/W	0h	接收过滤器长度。接收的最小脉冲长度由下式给出： $t_{\text{MIN}} = (\text{UCIRRFLx} + 4) / (2 \times f_{\text{BRCLK}})$
1	UCIRRPL	R/W	0h	IrDA 接收输入 UCAXRXD 极性 0b = 当看到光脉冲时 IrDA 收发器发出高脉冲 1b = 当看到光脉冲时 IrDA 收发器发出低脉冲
0	UCIRRXFE	R/W	0h	IrDA 接收滤波器被启用 0b = 禁用接收滤波器 1b = 接收过滤器被使能

15.4.11 UCAXABCTL 寄存器

USCI_Ax 自动波特率控制寄存器

图 15-22 展示了 UCAXABCTL, 表 15-17 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-22. UCAXABCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留		UCDELIMx		UCSTOE	UCBTOE	保留	UCABDEN
r-0	r-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	r-0	rw-0

表 15-17. UCAXABCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	保留	R	0h	
5-4	UCDELIMx	R/W	0h	中断/同步定界符长度 00b = 1 个位时间 01b = 2 个位时间 10b = 3 个位时间 11b = 4 个位时间
3	UCSTOE	R/W	0h	同步字段超时错误 0b = 无错误 1b = 超出可测量时间的同步字段长度。
2	UCBTOE	R/W	0h	中断超时错误 0b = 无错误 1b = 超过 22 位时间的中断字段长度。
1	保留	R	0h	
0	UCABDEN	R/W	0h	自动波特率检测使能 0b = 禁用波特率检测。中断和同步字段长度没有被测量。 1b = 启用波特率检测。中断和同步字段的长度被测量并且波特率设置也相应的改变。

15.4.12 IE2 寄存器

SFR 中断使能 2 寄存器

图 15-23 展示了 IE2, 表 15-18 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-23. IE2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
						UCA0TXIE	UCA0RXIE
						rw - 0	rw - 0

表 15-18. IE2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表)。
1	UCA0TXIE	R/W	0h	USCI_A0 发送中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	UCA0RXIE	R/W	0h	USCI_A0 接收中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

15.4.13 IFG2 寄存器

SFR 中断标志 2 寄存器

图 15-24 展示了 IFG2, 表 15-19 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-24. IFG2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
						UCA0TXIFG	UCA0RXIFG
						rw - 1	rw - 0

表 15-19. IFG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-2				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表)。
1	UCA0TXIFG	R/W	0h	USCI_A0 发送中断标志。UCA0TXBUF 为空时, UCA0TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
0	UCA0RXIFG	R/W	0h	USCI_A0 接收中断标志。当 UCA0RXBUF 已经接收一个完整字符时, UCA0RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

15.4.14 UC1IE 寄存器

USCI 中断使能寄存器

图 15-25 展示了 UC1IE, 表 15-20 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-25. UC1IE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用						UCA1TXIE	UCA1RXIE
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0			rw - 0	rw - 0

表 15-20. UC1IE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	未使用
3-2				这些位可以被其他的 USCI 模块使用 (请参阅器件专用数据表) 。
1	UCA1TXIE	R/W	0h	USCI_A1 发送中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	UCA1RXIE	R/W	0h	USCI_A1 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

15.4.15 UC1IFG 寄存器

USCI 中断标志寄存器

图 15-26 展示了 UC1IFG, 表 15-21 中对此进行了介绍。

返回表 15-6。

图 15-26. UC1IFG 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用						UCA1TXIFG	UCA1RXIFG
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0			rw - 1	rw - 0

表 15-21. UC1IFG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	未使用
3-2				这些位可以被其他的 USCI 模块使用 (请参阅器件专用数据表) 。
1	UCA1TXIFG	R/W	0h	USCI_A1 发送中断标志。UCA1TXBUF 为空时, UCA1TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
0	UCA1RXIFG	R/W	0h	USCI_A1 接收中断标志。当 UCA1RXBUF 已经接收一个完整字符时, UCA1RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

通用串行通信接口，SPI 模式。



通用串行通信接口 (USCI) 采用一个硬件模块支持多路串行通信模式。本章讨论了同步外设接口或 SPI 模式的操作。

16.1 USCI 概述	464
16.2 USCI 简介：SPI 模式	464
16.3 USCI 操作：SPI 模式	466
16.4 USCI 寄存器：SPI 模式	472

16.1 USCI 概述

通用串行通信接口 (USCI) 模块支持多种串行通信模式。不同的串行通信接口模块支持不同的模式。每个不同的串行通信接口模块用不同的字母命名。(例如，USCI_A 和 USCI_B 是不同的)。如果在一个器件里有多于一个的相同的 USCI 模块，这些模块以递增的数字命名。例如，如果一个器件有两个 USCI_A 模块，它们被命名为 USCI_A0 和 USCI_A1。请参阅《器件专用数据表》以确定在哪个器件里面应用了什么 USCI 模块。

USCI_Ax 模块支持：

- UART 模式
- 用于 IrDA 通信的脉冲整形
- 用于 LIN 通信的波特率自动检测
- SPI 模式

USCI-Bx 模块支持：

- I²C 模式
- SPI 模式

16.2 USCI 简介：SPI 模式

在同步模式下，USCI 通过三个或四个引脚将 MSP430 连接到外部系统：UCxSIMO、UCxSOMI、UCxCLK 和 UCxSTE。当 UCSYNC 位被置位时，选用 SPI 模式并且用 UCMODEx 位选择 SPI 模式(3 引脚或 4 引脚)。

SPI 模式的特性包括：

- 数据长度为 7 或 8 位
- 最低有效位或最高有效位数据最先传送和接收
- 3 引脚和 4 引脚 SPI 操作
- 主机或从机模式
- 独立的发送和接收移位寄存器
- 独立的发送和接收缓冲寄存器
- 连续发送和接收操作
- 可选的时钟极性和相位控制
- 主模式下的可编程时钟频率
- 独立的接收中断和发送中断功能
- LPM4 模式下的从器件操作

图 16-1 显示了 SPI 模式下的 USCI 的配置。

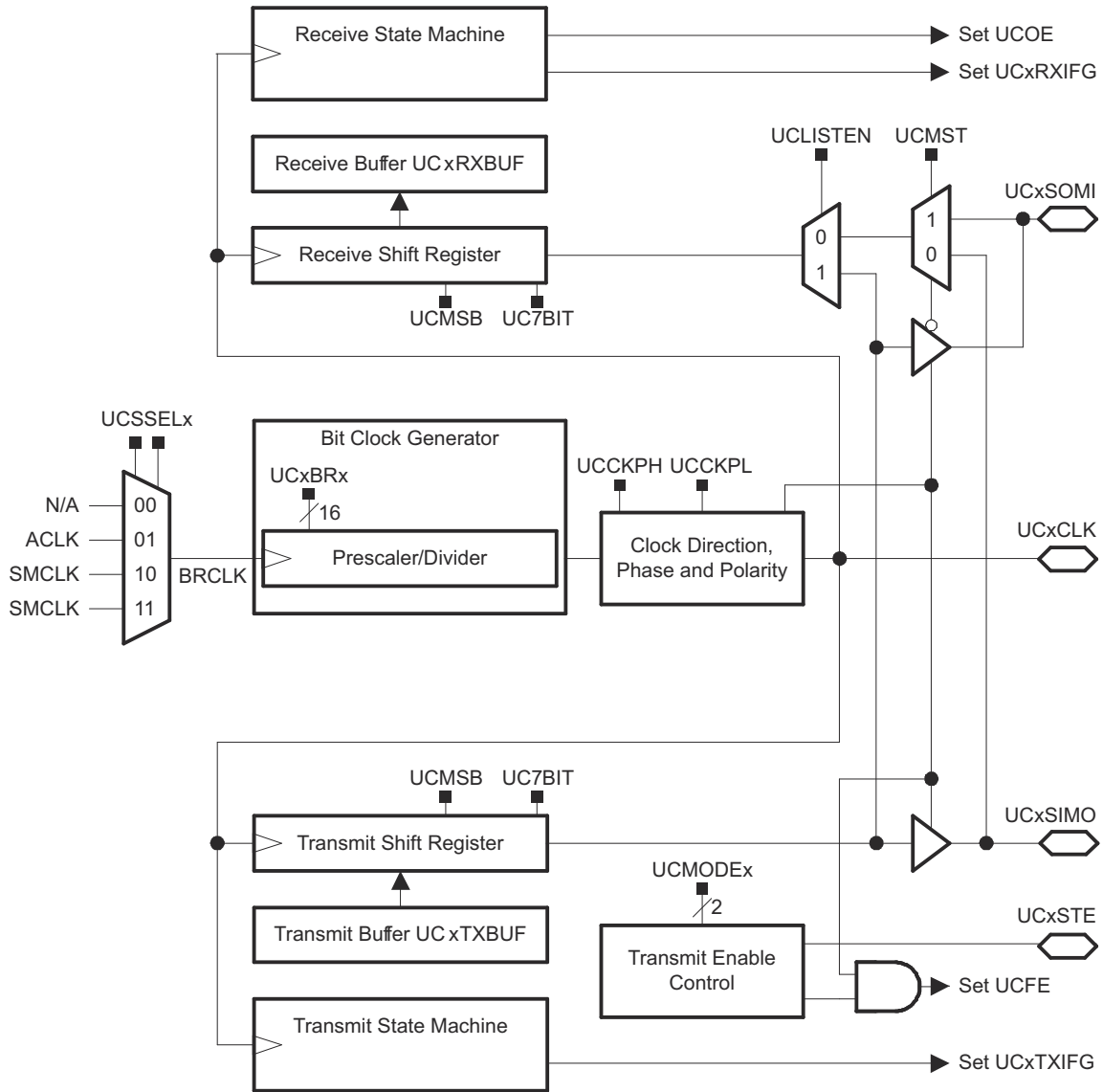


图 16-1. UCI 方框图 : SPI 模式

16.3 USCI 操作：SPI 模式

在 SPI 模式中，串行数据可在多路个器件之间进行发送和接收，这些器件使用由主机提供的共用时钟。一个额外引脚，UCxSTE，用于使能器件接收和发送数据并且由主器件控制。

三或四引脚信号被用于 SPI 数据交换：

- UCxSIMO：从器件输入，主器件输出
 - 主模式：UCxSIMO 是数据输出线路。
 - 从模式：UCxSIMO 是数据输入线路。
- UCxSOMI：从器件输出，主器件输入
 - 主模式：UCxSOMI 是数据输入线路。
 - 从模式：UCxSOMI 是数据输出线路。
- UCxCLK：USCI SPI 时钟
 - 主模式：UCxCLK 是输出。
 - 从模式：UCxCLK 是输入。
- UCxSTE：从器件发送使能

在 4 引脚模式下使用，允许单个总线上存在多个主器件。不用于 3 引脚模式。表 16-1 描述了 UCxSTE 的操作。

表 16-1. UCxSTE 的操作

UCMODEx	UCxSTE 激活状态	UCxSTE	从器件	主器件
01	高	0	未激活	激活
		1	激活	未激活
10	低	0	激活	未激活
		1	未激活	激活

16.3.1 USCI 的初始化和复位

通用串行通信接口通过一个 PUC 或 UCSWRST 位来复位。一个 PUC 后，UCSWRST 位会自动置位，以此来保持 USCI 在复位状态。当置位时，UCSWRST 位复位 UCxRXIE，UCxTXIE，UCxRXIFG，UCOE 和 UCFE 位并置位 UCxTXIFG 标志。清零 UCSWRST 会释放 USCI 从而使其运行。

备注

初始化或重新配置 USCI 模块

建议的 USCI 初始化/重新配置的过程为：

1. 置位 UCSWRST (BIS.B #UCSWRST, &UCxCTL1)
2. 使用 UCSWRST=1，初始化所有的通用串行通信接口寄存器 (包括 UCxCTL1)
3. 配置端口
4. 通过软件清零 UCSWRST 位 (BIC.B #UCSWRST, &UCxCTL1)
5. 通过 UCxRXIE 和/或 UCxTXIE 使能中断 (可选)

16.3.2 字符格式

SPI 模式下的 USCI 模块支持通过 UC7BIT 位选择的 7 和 8 位字符长度。在 7 位数据模式下，UCxRXBUF 是对齐的 LSB 并且 MSB 总是复位。UCMSB 位控制传输方向并选定最低有效位或最高有效位先发送或接收。

备注

默认字符格式

缺省 SPI 字符传输是从 LSB 开始。对于带有其他 SPI 接口的通信，它有可能需要 MSB 优先模式。

备注

图的字符格式

本章的所有图表均使用 MSB 优先的格式。

16.3.3 主模式

图 16-2 说明了 USCI 在 3 引脚和 4 引脚模式下作为主器件时的配置。当数据被送到传输数据缓冲器 UCxTXBUF 时，USCI 开始数据传送。当 TX 移位寄存器空了后，UCxTXBUF 缓冲区的数据被传送到其中，在 UCxSIMO 上传送初始化数据，起始位是最高位还是最低位，决定于 UCMSB 标志位的设置。UCxSOMI 上的数据在反向时钟沿上被移入接收移位寄存器。当接收到字符之后，接收数据从 RX 移位寄存器送入接收数据缓冲器 UCxRXBUF，并且置位接收中断标志 UCxRXIFG，表示接收/发送操作完成。

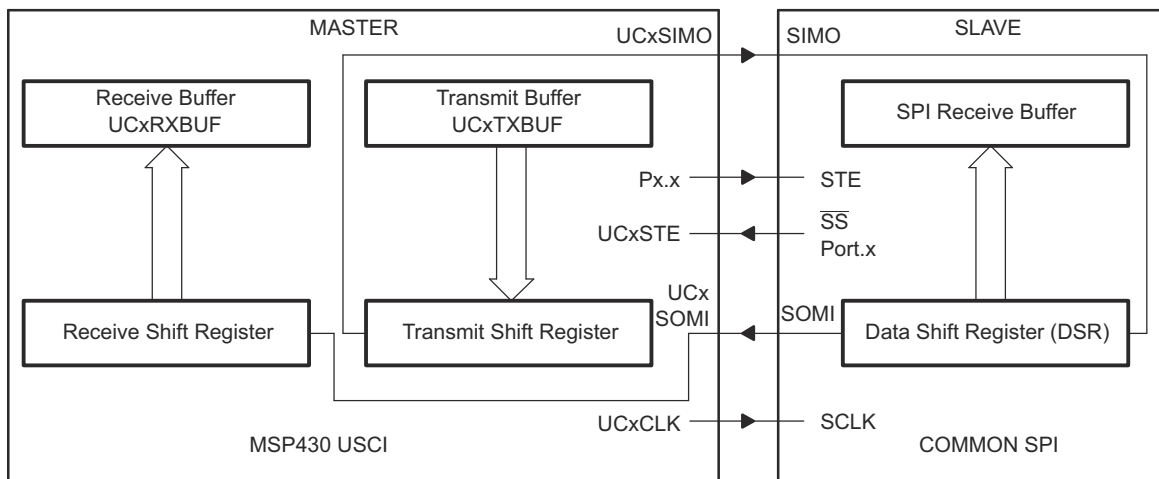


图 16-2. USCI 主控模式和外部受控模式

一个传输中断标志 UCxTXIFG 被置位，表示数据已经从 UCxTXBUF 移动到 TX 移位寄存器中并且 UCxTXBUF 准备传输新数据。它并不代表 RX/TX 的完成。

为了在主控模式下接收 USCI 数据，数据必须事先写入 UCxTXBUF，因为接收和发送操作不是马上进行的。

16.3.3.1 4 引脚 SPI 主控模式

如在表 16-1 中描述, 在 4 引脚主控模式中, UCxSTE 被用来防止与其它主器件相冲突和控制主器件。当 UCxSTE 处于主器件不活动状态时:

- UCxSIMO 和 UCxCLK 被设置为输入并且不再驱动总线。
- 出错位 UCFE 置位表明一个要由客户处理的通讯完整性操作的违规。
- 内部状态被复位并且移位操作取消。

如果数据写入 UCxTXBUF 而主器件通过 UCxSTE 位保持非激活状态, 它将在 UCxSTE 转换为主器件激活状态时被立即发送。如果一个激活的发送被正在转换为主器件未激活状态的 UCxSTE 中断, 那么当 UCxSTE 转换为主器件激活状态时数据需要将数据重新写入 UCxTXBUF。UCxSTE 输入信号不会在 3 引脚主空模式中使用。

16.3.4 从模式

图 16-3 显示了在 3 引脚和 4 引脚配置下的作为从器件的 USCI。UCxCLK 被用作 SPI 时钟输入而且它必须由外部主器件提供。数据传送率取决于这个时钟而不是内部时钟发生器。在 UCxCLK 被传输到 UCxSOM1 之前, 数据被写入 UCxTXBUF 并被移动到 TX 移位寄存器。当设定编号位数被接收到后, UCxSIMO 上的数据被移入 UCxCLK 反向沿上的移位寄存器并被移动到 UCxRXBUF。当数据由 RX 移位寄存器被送到 UCxRXBUF 时, UCxRXIFG 中断标志被置位, 表明数据已被接收。在新数据写入 UCxRXBUF 时, 如果前一个接收的数据还未从 UCxRXBUF 中被读取, 则溢出错误位, UCOE 被置位。

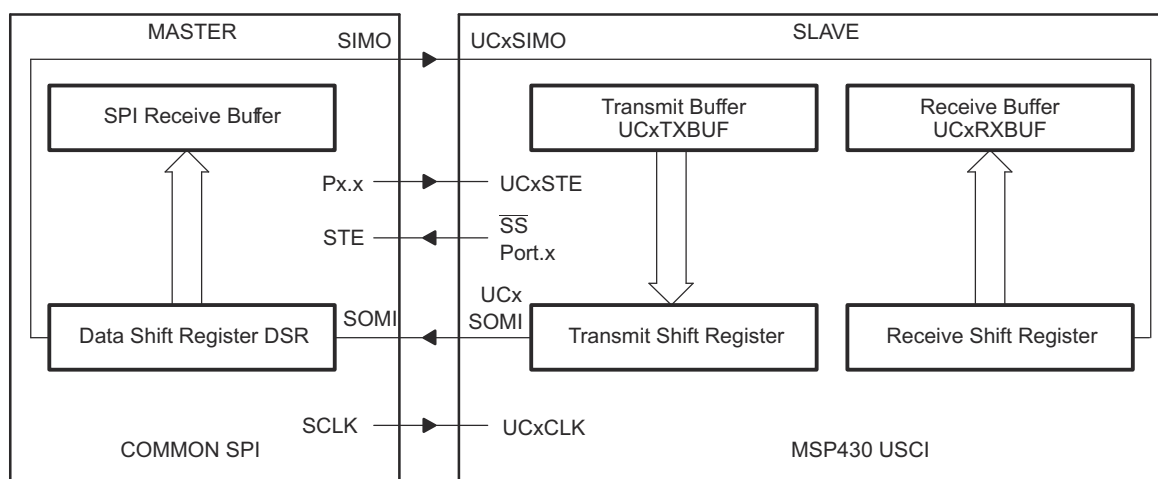


图 16-3. USCI 从器件和外部主器件

16.3.4.1 4 引脚 SPI 受控模式

在 4 引脚受控模式中, UCxSTE 被从器件用于使能发送和接收操作并由 SPI 主器件提供。当 UCxSTE 处于从机激活状态时, 从机正常运行。当 UCxSTE 处于从机未激活状态时:

- UCxSIMO 上的所有进行中的操作都被暂停。
- UCxSIMO 被设置为输入方向
- 切换操作被暂停直到 UCxSIMO 线传输进入从器件传输状态。

在 3 引脚从模式中, 不会使用 UCxSTE 输入信号。

16.3.5 SPI 使能

通过清零 UCxSIMO 位使能 USCI 模块时，该模块准备接收和发送数据。在主控模式中，位时钟发生器准备，但既不计时也不产生任何时钟。在受控模式中，位时钟发生器被禁用并且由主器件提供。

UCBUSY=1 标志着一个发送或接收操作。

一个 PUC 或置位 UCSWRST 位立即禁用 USCI 并且所有激活的传输都被终止。

16.3.5.1 发送使能

在主控模式中，写入 UCxTXBUF 将激活位时钟发生器并且数据开始发送。

在受控模式中，当一个主器件提供一个时钟时且，在 4 引脚模式中，UCxSTE 处于从器件激活状态中时，数据开始传输。

16.3.5.2 接收使能

当一个传输激活时，SPI 接收数据。接收和发送操作不同时运行。

16.3.6 串行时钟控制

UCxCLK 由 SPI 总线上的主器件提供。当 UCMST = 1 时，位时钟由 UCxCLK 引脚上的 USCI 位时钟发生器提供。被用于产生位时钟的时钟由 UCSSELx 位进行选择。当 UCMST=0 时，USCI 时钟由主器件通过 UCxCLK 引脚提供，不使用位时钟发生器，并且 UCSSELx 位无影响。SPI 接收器和发生器并行操作并且在数据传输时使用同一时钟源。

在比特率控制寄存器 UCxxBR1 和 UCxxBR0 中 UCBRx 的 16 位值就是 USCI 时钟源，BRCLK 的分频系数。在 主控模式中能产生的最大位时钟是 BRCLK。在 SPI 模式中不用调制并且当 USCI_A 应用在 SPI 模式时，UCAxMCTL 应该被清零。UCAxCLK/UCBxCLK 频率由下列给出：

$$f_{\text{BitClock}} = \frac{f_{\text{BRCLK}}}{\text{UCBRx}}$$

16.3.6.1 串行时钟的极性和相位

UCxCLK 的相位和极性通过 USCI 的 UCCKPL 和 UCCKPH 控制位独立配置。图 16-4 给出了每种情况的时序。

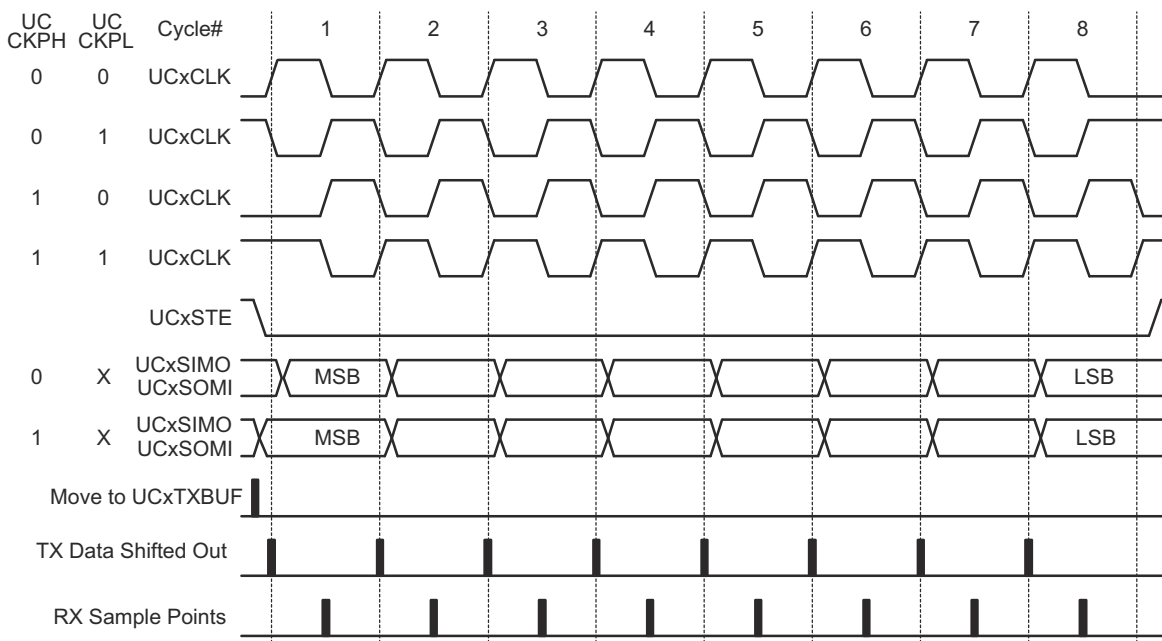


图 16-4. UCMSB=1 时的 USCI SPI 时序

16.3.7 使用 SPI 低功耗模式

对于应用在低功耗模式中的 SMCLK, USCI 模块提供时钟自动激活功能。当 SMCLK 是 USCI 的时钟源并无效时, 由于器件处于一个低功耗模式, 如果需要, USCI 模块都可忽略时钟源控制位设置而自动激活。直到 USCI 模块回到其空闲状态, 时钟都会保持激活条件。USCI 模块恢复空闲条件后, 时钟源的控制权会恢复到其控制位的设置。不为时钟信号 (ACLK) 提供自动时钟激活。

当 USCI 模块激活一个未激活时钟源时, 时钟源激活, 则应用该时钟源的整个器件和所有外配置都会受到影响。例如, 在 USCI 模块强制 SMCLK 激活期间, 将会增加一个使用 SMCLK 的定时器。

在 SPI 受控模式中, 无需内部时钟源, 因为所需时钟都是由外部主器件提供。当器件是在 LPM4 中且所有时钟源都被禁用期间, 有可能在 SPI 受控模式中运行 USCI。接收或发送中断可以将 CPU 从任何低功耗模式中唤醒。

16.3.8 SPI 中断

USCI 有一个发送中断向量和接收中断向量。

16.3.8.1 SPI 发送中断操作

UCxTXIFG 中断标志被发送器置位来表示 UCxTXBUF 准备接收另一个字符。如果 UCxTXIE 和 GIE 也被置位, 将产生一个中断请求。如果一个字符被写入 UCxTXBUF, 则 UCxTXIFG 会自动复位。在 PUC 之后或 UCSWRST = 1 时会设置 UCxTXIFG。一个 PUC 或 UCSWRST = 1 后, UCxTXIE 将复位。

备注

在 SPI 模式下对 UCxTXBUF 进行写入

当 UCxTXIFG = 0 时, 数据被写入 UCxTXBUF 可能导致错误的数据传输。

16.3.8.2 SPI 接收中断操作

每当一个字符被接收并装载到 UCxRXBUF 中时 UCxRXIFG 中断标志就会被置位一次。如果 UCxRXIE 和 GIE 也置位，将产生一个中断请求。UCxRXIFG 和 UCxRXIE 由系统复位 PUC 信号进行复位，或在 UCSWRST = 1 时复位。在读取 UCxRXBUF 时，UCxRXIF 会自动复位。

16.3.8.3 USCI 中断用法

USCI_Ax 和 USCI_Bx 共用一个相同的中断向量。接收中断的标志 UCAxRXIFG 和 UCBxRXIFG 被路由到一个中断向量，发送中断标志 UCAxTXIFG 和 UCBxTXIFG 共享另一个中断向量。

示例 16-1 说明一个中断服务子程序处理来自 UART 或 SPI 模式下的 USCI_A0 和在 SPI 模式下 USCI_B0 的数据接收中断的一段摘录。

示例 16-1. 共享的接收中断向量软件示例

```

USCIA0_RX_USCIB0_RX_ISR
  BIT.B   #UCA0RXIFG, &IFG2   ; USCI_A0 Receive Interrupt?
  JNZ     USCIA0_RX_ISR
USCIB0_RX_ISR?
  ; Read UCB0RXBUF (clears UCB0RXIFG)
  ...
  RETI
USCIA0_RX_ISR
  ; Read UCA0RXBUF (clears UCA0RXIFG)
  ...
  RETI

```

示例 16-2. 共享的发送中断向量软件示例

```

USCIA0_TX_USCIB0_TX_ISR
  BIT.B   #UCA0TXIFG, &IFG2   ; USCI_A0 Transmit Interrupt?
  JNZ     USCIA0_TX_ISR
USCIB0_TX_ISR
  ; Write UCB0TXBUF (clears UCB0TXIFG)
  ...
  RETI
USCIA0_TX_ISR
  ; Write UCA0TXBUF (clears UCA0TXIFG)
  ...
  RETI

```

16.4 USCI 寄存器 : SPI 模式

表 16-2 列出了 SPI 模式下 USCI_Ax 和 USCI_Bx 的存储器映射寄存器。

表 16-2. USCI_Ax 和 USCI_Bx 控制和状态寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
60h	UCA0CTL0	USCI_A0 控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.2
61h	UCA0CTL1	USCI_A0 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.3
62h	UCA0BR0	USCI_A0 波特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
63h	UCA0BR1	USCI_A0 波特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
65h	UCA0STAT	USCI_A0 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.6
66h	UCA0RXBUF	USCI_A0 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 16.4.7
67h	UCA0TXBUF	USCI_A0 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.8
68h	UCB0CTL0	USCI_B0 控制 0	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.2
69h	UCB0CTL1	USCI_B0 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.2
6Ah	UCB0BR0	USCI_B0 比特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
6Bh	UCB0BR1	USCI_B0 比特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
6Dh	UCB0STAT	USCI_B0 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.6
6Eh	UCB0RXBUF	USCI_B0 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 16.4.7
6Fh	UCB0TXBUF	USCI_B0 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.8
1h	IE2	SFR 中断使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.9
3h	IFG2	SFR 中断标志 2	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 16.4.10
D0h	UCA1CTL0	USCI_A1 控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.2
D1h	UCA1CTL1	USCI_A1 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.2
D2h	UCA1BR0	USCI_A1 波特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
D3h	UCA1BR1	USCI_A1 波特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.5
D5h	UCA1STAT	USCI_A1 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.6
D6h	UCA1RXBUF	USCI_A1 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 16.4.7
D7h	UCA1TXBUF	USCI_A1 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.8
D8h	UCB1CTL0	USCI_B1 控制 0	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.2
D9h	UCB1CTL1	USCI_B1 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 16.4.2
DAh	UCB1BR0	USCI_B1 比特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.4
DBh	UCB1BR1	USCI_B1 比特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.5
DDh	UCB1STAT	USCI_B1 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.6
DEh	UCB1RXBUF	USCI_B1 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 16.4.7
DFh	UCB1TXBUF	USCI_B1 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.8
6h	UC1IE	USCI_A1/B1 中断启用	读取/写入	PUC 后为 00h	节 16.4.11
7h	UC1IFG	USCI_A1/B1 中断标志	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 16.4.12

备注

修改 SFR 位

为了避免修改其他模块的控制位, TI 建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令 (而非 MOV.B 或 CLR.B 指令) 来设置或清除 IEx 和 IFGx 位。

16.4.1 UCAxCTL0、UCBxCTL0 寄存器

USCI_Ax 控制 0 寄存器、USCI_Bx 控制 0 寄存器

图 16-5 展示了 UCAxCTL0 和 UCBxCTL0，表 16-3 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-5. UCAxCTL0、UCBxCTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCCKPH	UCCKPL	UCMSB	UC7BIT	UCMST	UCMODEx		UCSYNC
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-3. UCAxCTL0、UCBxCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UCCKPH	R/W	0h	时钟相位选择 0b = 数据在第一个 UCLK 边沿发生变化并在下一个边沿进行捕捉。 1b = 数据在第一个 UCLK 边沿上被捕捉且在下一个边沿上被改变。
6	UCCKPL	R/W	0h	时钟极性选择 0b = 未激活的状态为低电平。 1b = 未激活的状态是高电平。
5	UCMSB	R/W	0h	MSB 优先选择。控制移位寄存器接收和发送的方向。 0b = 最低有效位有限 (LSB) 1b = MSB 首先
4	UC7BIT	R/W	0h	字符长度。选择 7 位或 8 位字符长度。 0b = 8 位数据 1b = 7 位数据
3	UCMST	R/W	0h	主机模式选择 0b = 从模式 01b = 主模式
2-1	UCMODEx	R/W	0h	USCI 模式。当 UCSYNC=1 时，UCMODEx 位选择同步模式。 00b = 3 引脚 SPI 01b = UCxSTE 高电平有效的 4 引脚 SPI：当 UCxSTE = 1 时启用从模式 10b = UCxSTE 低电平有效的 4 引脚 SPI：当 UCxSTE = 0 时启用从模式 11b = I ² C 模式
0	UCSYNC	R/W	0h	同步模式使能。对于 SPI 模式必须为 1。 0b = 异步模式 1b = 同步模式

16.4.2 UCAxCTL1、UCBxCTL1 寄存器

USCI_Ax 控制 1 寄存器、USCI_Bx 控制 1 寄存器

图 16-6 展示了 UCAxCTL1 和 UCBxCTL1，表 16-4 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-6. UCAxCTL1、UCBxCTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCSSELx		被保留					UCSWRST
rw - 0	rw - 0	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

(1) UCAxCTL1(USCI_Ax)

(2) UCBxCTL1(USCI_Bx)

表 16-4. UCAxCTL1、UCBxCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	UCSSELx	R/W	0h	USCI 时钟源选择。这些位用于选择在主器件模式下的 BRCLK 时钟源。UCxCLK 总是在从器件模式下使用。 00b = 保留 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = SMCLK
5-1	保留	R/W	0h	
0	UCSWRST	R/W	1h	软件复位使能 0b = 禁用。释放 USCI 复位以便进行操作。 1b = 启用。在复位状态中 USCI 逻辑状态被保持。

16.4.3 UCAxBR0、UCBxBR0 寄存器

USCI_Ax 比特率控制 0 寄存器、USCI_Bx 比特率控制 0 寄存器

图 16-7 展示了 UCAxBRx 和 UCBxBRx，表 16-5 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-7. UCAxBR0、UCBxBR0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBRx (低字节)							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-5. UCAxBR0、UCBxBR0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBRx	R/W	0h	位时钟预分频器设置。(UCxxBR0 + UCxxBR1 × 256) 的 16 值组成了预分频器值。

16.4.4 UCAxBR1、UCBxBR1 寄存器

USCI_Ax 比特率控制 1 寄存器、USCI_Bx 比特率控制 1 寄存器

图 16-8 展示了 UCAxBRx 和 UCBxBRx，表 16-6 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-8. UCAxBR1、UCBxBR1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBRx (高位字节)							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-6. UCAxBR1、UCBxBR1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBRx	R/W	0h	位时钟预分频器设置。(UCxxBR0 + UCxxBR1 × 256) 的 16 值组成了预分频器值。

16.4.5 UCAXSTAT、UCBXSTAT 寄存器

USCI_Ax 状态寄存器、USCI_Bx 状态寄存器

图 16-9 展示了 UCAXSTAT 和 UCBXSTAT，表 16-7 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-9. UCAXSTAT、UCBXSTAT 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCLISTEN	UCFE	UCOE	保留			UCBUSY	
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r-0

(1) UCAXSTAT (USCI_Ax)

(2) UCBXSTAT (USCI_Bx)

表 16-7. UCAXSTAT、UCBXSTAT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UCLISTEN	R/W	0h	监听使能。UCLISTEN 位选择回路模式。 0b = 被禁用 1b = 被启用。发送器输出从内部反馈到接收器。
6	UCFE	R/W	0h	帧错误标志。该位表示了一个 4 线制主模式中的总线冲突。UCFE 不能用于 3 线制主模式或任何从模式。 0b = 无错误 1b = 发生总线错误
5	UCOE	R/W	0h	溢出错误标志。当在之前的一个字符被读取前随后一个字符被传输到 UCxRXBUF 时，该位被置位。当 UCxRXBUF 被读取时，UCOE 被自动清除，而且 UCOE 绝不能用软件清除。否则，它将无法正常工作。 0b = 无错误 1b = 发生溢出错误
4-1	保留	R/W	0h	
0	UCBUSY	R	0h	USCI 忙。该位表示一个发送或接收操作正在进行。 0b = USCI 处于非活动状态 1b = USCI 发送或接收

16.4.6 UCAxRXBUF、UCBxRXBUF 寄存器

USCI_Ax 接收缓冲寄存器、USCI_Bx 接收缓冲寄存器

图 16-10 展示了 UCAxRXBUF 和 UCBxRXBUF，表 16-8 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-10. UCAxRXBUF、UCBxRXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCRXBUFx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 16-8. UCAxRXBUF、UCBxRXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCRXBUFx	R	0h	接收数据缓冲是用户可以访问的，并包含从接收移位寄存器那里最后接收到的字符。读取 UCxRXBUF 复位接收错误位，和 UCxRXIFG。在 7 位数据模式下，UCxRXBUF 是对齐的 LSB 并且 MSB 总是复位。

16.4.7 UCAxTXBUF、UCBxTXBUF 寄存器

USCI_Ax 发送缓冲寄存器、USCI_Bx 发送缓冲寄存器

图 16-11 展示了 UCAxTXBUF 和 UCBxTXBUF，表 16-9 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-11. UCAxTXBUF、UCBxTXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCTXBUFx							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-9. UCAxTXBUF、UCBxTXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCTXBUFx	R/W	0h	发送数据缓冲是用户可以访问的，并包含等待被移入发送移位寄存器以及已经发出的数据。写入到发送数据缓冲器清除 UCxTXIFG。UCxTXBUF 的 MSB 没有在 7 位数据模式下使用且被复位了。

16.4.8 IE2 寄存器

SFR 中断使能 2 寄存器

图 16-12 展示了 IE2，表 16-10 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-12. IE2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
				UCB0TXIE	UCB0RXIE	UCA0TXIE	UCA0RXIE
				rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-10. IE2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表)。
3	UCB0TXIE	R/W	0h	USCI_B0 发送中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	UCB0RXIE	R/W	0h	USCI_B0 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
1	UCA0TXIE	R/W	0h	USCI_A0 发送中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	UCA0RXIE	R/W	0h	USCI_A0 接收中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

16.4.9 IFG2 寄存器

SFR 中断标志 2 寄存器

图 16-13 展示了 IFG2，表 16-11 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-13. IFG2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
				UCB0TXIFG	UCB0RXIFG	UCA0TXIFG	UCA0RXIFG
				rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 0

表 16-11. IFG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表)。
3	UCB0TXIFG	R/W	0h	USCI_B0 发送中断标志。当 UCB0TXBUF 为空时，UCB0TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	UCB0RXIFG	R/W	1h	USCI_B0 接收中断标志。当 UCB0RXBUF 收到一个完整字符时，UCB0RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	UCA0TXIFG	R/W	0h	USCI_A0 发送中断标志。UCA0TXBUF 为空时，UCA0TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
0	UCA0RXIFG	R/W	1h	USCI_A0 接收中断标志。当 UCA0RXBUF 已经接收一个完整字符时，UCA0RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

16.4.10 UC1IE 寄存器

USCI_A1/B1 中断使能寄存器

图 16-14 展示了 UC1IE，表 16-12 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-14. UC1IE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用			UCB1TXIE	UCB1RXIE	UCA1TXIE	UCA1RXIE	
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 16-12. UC1IE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	
3	UCB1TXIE	R/W	0h	USCI_B1 发送中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	UCB1RXIE	R/W	0h	USCI_B1 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
1	UCA1TXIE	R/W	0h	USCI_A1 发送中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	UCA1RXIE	R/W	0h	USCI_A1 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

16.4.11 UC1IFG 寄存器

USCI_A1/B1 中断标志寄存器

图 16-15 展示了 UC1IFG，表 16-13 中对此进行了介绍。

返回表 16-2。

图 16-15. UC1IFG 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用				UCB1TXIFG	UCB1RXIFG	UCA1TXIFG	UCA1RXIFG
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0	rw - 1	rw - 0

表 16-13. UC1IFG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	
3	UCB1TXIFG	R/W	1h	USCI_B1 发送中断标志。当 UCB1TXBUF 为空时，UCB1TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	UCB1RXIFG	R/W	0h	USCI_B1 接收中断标志。当 UCB1RXBUF 收到一个完整字符时，UCB1RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	UCA1TXIFG	R/W	1h	USCI_A1 发送中断标志。UCA1TXBUF 为空时，UCA1TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
0	UCA1RXIFG	R/W	0h	USCI_A1 接收中断标志。当 UCA1RXBUF 已经接收一个完整字符时，UCA1RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

This page intentionally left blank.

章节 17
通用串行通信接口, I²C 模式



通用串行通信接口 (USCI) 支持一个硬件模块下的多通道串行通信模式。本章讨论了 I²C 模式的运行。

17.1 USCI 概述.....	484
17.2 USCI 简介 : I ² C 模式.....	484
17.3 USCI 操作 : I ² C 模式.....	485
17.4 USCI 寄存器 : I ² C 模式.....	500

17.1 USCI 概述

通用串行通信接口 (USCI) 模块支持多种串行通信模式。不同的 USCI 模块支持不同的模式。每种不同的 USCI 模块用不同的字母命名。例如, USCI_A 不同于 USCI_B。如果在一台器件上实现多个相同的 USCI 模块, 那么这些模块用递增的数字命名。例如, 如果一个设备有两个 USCI_A 模块, 它们被命名为 USCI_A0 和 USCI_A1。请参阅器件特定数据表, 以确定在给定器件上实现了哪些 USCI 模块 (如果有)。

USCI_Ax 模块支持:

- UART 模式
- 用于 IrDA 通信的脉冲整形
- LIN 通信的自动波特率检测
- SPI 模式

USCI-Bx 模块支持:

- I²C 模式
- SPI 模式

17.2 USCI 简介: I²C 模式

在 I²C 模式下, USCI 模块提供通过两线制 I²C 串行总线连接的 MSP430 和 I²C 兼容器件之间的接口。连接到 I²C 总线的外部器件通过两线制 I²C 接口以串行方式向/从 USCI 模块传输和/或接收串行数据。

I²C 模式的特点包括:

- 符合 2.1 版本飞利浦半导体 I²C 技术规格
 - 7 位和 10 位器件寻址模式
 - 常规调用
 - 起始/重新起始/停止
 - 多主机发送器/接收器模式
 - 受控接收器/发送器模式
 - 标准模式下可达 100kbps, 并支持在快速模式下高达 400kbps
- 主机模式下可编程的 UCxCLK 频率
- 低功耗设计
- 受控接收器起始从 LPMx 模式中自动唤醒的检测
- LPM4 下的从模式运行

当在 I²C 模式中配置后, [图 17-1](#) 就会给出 USCI。

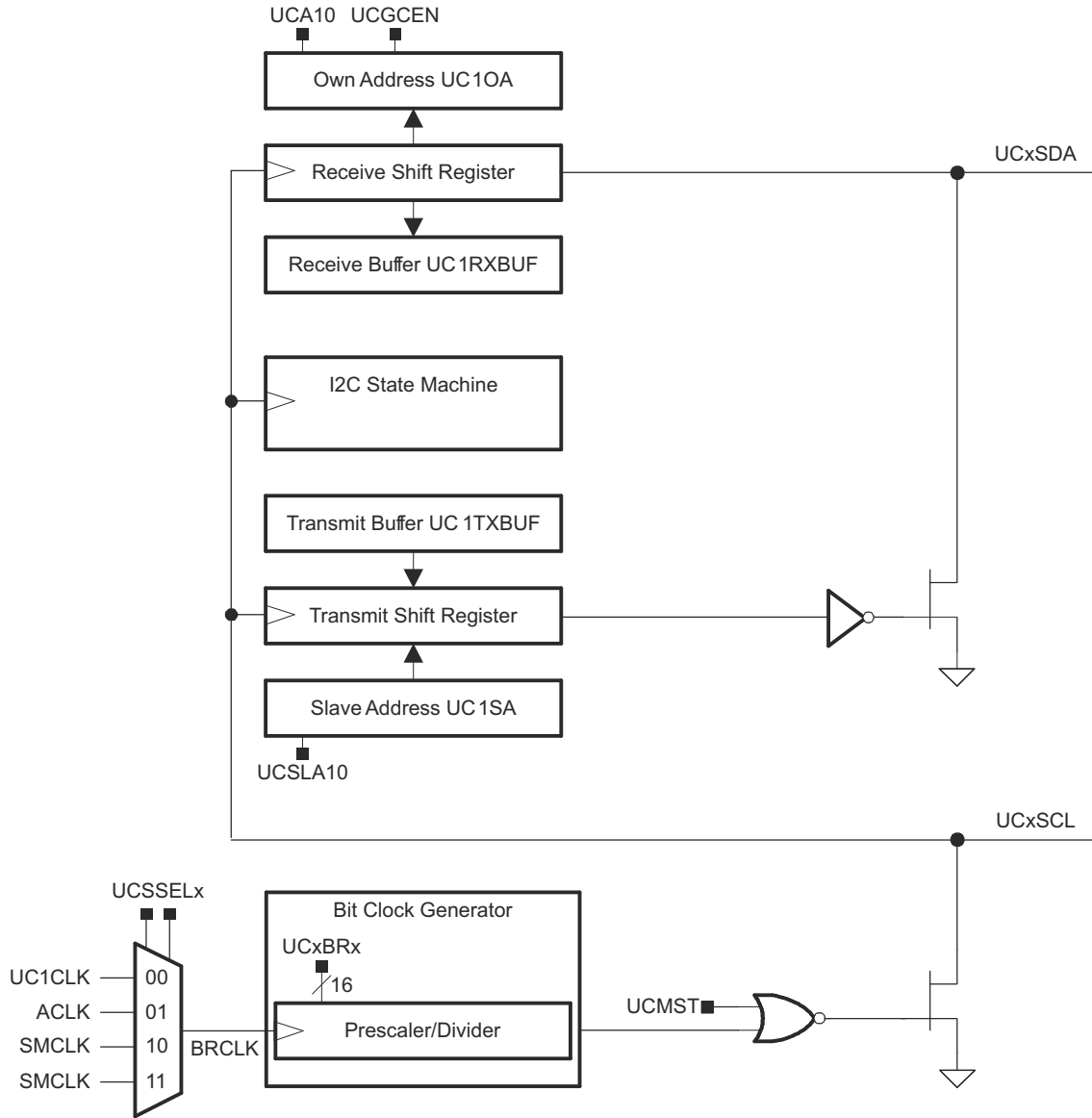


图 17-1. USCI 方框图 : I2C 模式

17.3 USCI 操作 : I2C 模式

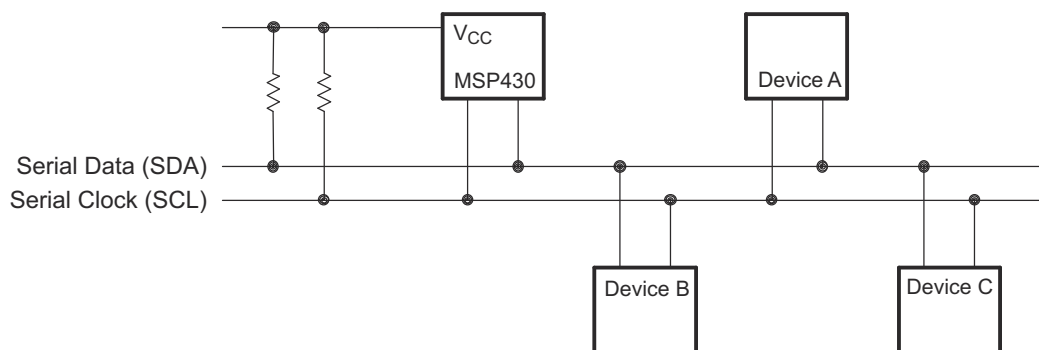
I2C 模式支持任何与 I2C 兼容的从器件或主器件。图 17-2 展示了 I2C 总线示例。每个 I2C 器件都通过一个唯一地址识别，并可以作为发送器或接收器运行。当进行数据传输时，一个连接到 I2C 总线的器件可被看作主器件或从器件。一个主器件发起数据传输，并生成时钟信号 SCL。任何由主器件寻址的器件被看作是一个从器件。

I2C 数据是用串行数据引脚 (SDA) 和串行时钟引 (SCL) 进行通信的。SDA 和 SCL 是双向的，并且必须被连接到使用一个上拉电阻的正电源电压。

备注

SDA 和 SCL 电平

MSP430 SDA 和 SCL 引脚不能被拉高至超过 MSP430 V_{CC} 电平。


 图 17-2. I²C 总线连接框图

17.3.1 USCI 初始化和复位

USCI 由一个 PUC 进行复位或由 UCSWRST 位设置。在一个 PUC 之后, UCSWRST 位被自动设置, 从而保持了 USCI 处于复位状态。为了选择 I²C 运行, UCMODEx 位必须设置为 11。模块被初始化后, 已准备好发送或接收操作。清除 UCSWRST 位会使 USCI 处于运行状态。

当 UCSWRST 被设定以便避免不可预知的运行状态时, 应完成 USCI 模块的配置和重新配置。在 I²C 模式下设置 UCSWRST 具有以下作用:

- I²C 通信停止
- SDA 和 SCL 为高阻抗
- UCBxI2CSTAT, 6-0 位被清零
- UCBxTXIE 和 UCBxRXIE 被清零
- UCBxTXIFG 和 UCBxRXIFG 被清零
- 所有其他位和寄存器保持不变。

备注

初始化或重新配置 USCI 模块

建议的 USCI 初始化或重新配置过程是:

1. 设置 UCSWRST (BIS.B #UCSWRST, &UCxCTL1)
2. 使用 UCSWRST = 1 初始化所有 USCI 寄存器 (包括 UCxCTL1)
3. 配置端口。
4. 通过软件清除 UCSWRST (BIC.B #UCSWRST, &UCxCTL1)
5. 使用 UCxRXIE 或 UCxTXIE 启用中断 (可选)

17.3.2 I²C 串行数据

由主器件为每个已传送的数据位产生一个时钟脉冲。I²C 模式用字节数据运行。传输的数据是最高有效位, 如在图 17-3 中所示。

在一个起始条件后的第一个字节包含一个 7 位从器件地址和 R/W 位。当 R/W = 0 时, 主器件向从器件发送数据。当 R/W = 1 时, 主器件从从器件处接收数据。ACK 位由在第 9 个 SCL 时钟上的每个字节后的接收器发送。

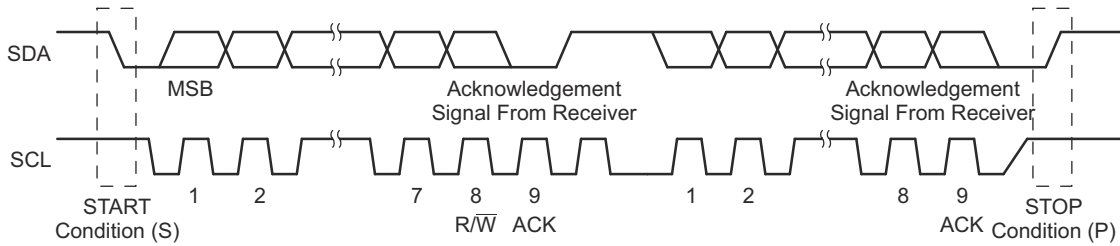


图 17-3. I²C 模块数据传输

起始和停止条件是由主器件产生，显示在图 17-3 中。起始条件是，在 SCL 为高电平时，SDA 线上的由高电平至低电平的过渡。停止条件是，在 SCL 为高电平时，SDA 线上的由低电平至高电平的过渡。总线忙位，UCBBUSY，在起始后置位，在停止后清零。

SCL 为高电平期间，SDA 上的数据必须保持稳定，如图 17-4 中所示。只能在 SCL 为低时才可以改变 SDA 的高低电平状态，否则将会产生起始和停止条件。

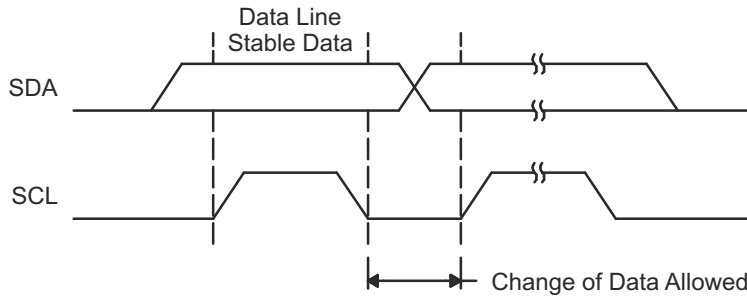


图 17-4. 在 I²C 总线上的位传输

17.3.3 I²C 寻址模式

I²C 模式支持 7 位和 10 位的寻址模式。

17.3.3.1 7 位寻址

7 位寻址的格式如在图 17-5 中所示。第一个字节是 7 位从器件地址和 R/w 位。应答位 ACK 是在每个字节后由接收器发出的。

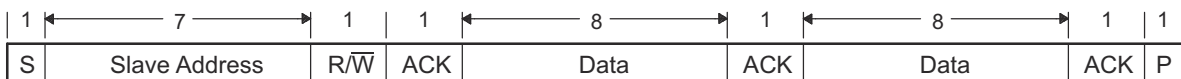


图 17-5. I²C 模块 7 位寻址格式

17.3.3.2 10 位寻址

10 位寻址的格式如在图 17-6 中所示，第一个字节由 11110b 加上 10 位从器件地址的两个最高位 (MSB) 和 R/W 位构成。应答位 ACK 是在每个字节后由接收器发出的。下一个字节是 10 位从地址中剩下的低 8 位，而后是 ACK 应答位和 8 位数据。

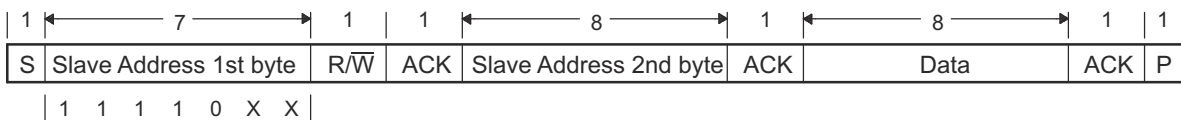


图 17-6. I²C 模块 10 位寻址格式

17.3.3.3 重复起始条件

主器件可以在不先停止一个传输的情况下, 通过一个重复起始条件来改变 SDA 上数据流的方向。这称为重新起始。重新起始生成后, 从器件地址被 R/W 位指定的新数据方向再次发送。在图 17-7 中给出了重新起始的条件。

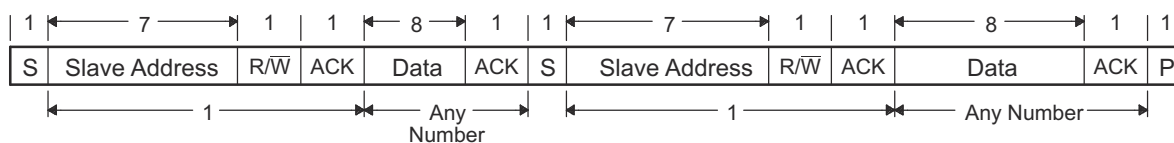


图 17-7. I2C 模块重复起始条件的寻址格式

17.3.4 I2C 模块的运行模式

在 I2C 模式下, USCI 模块可以在主器件发送模式, 主器件接收模式, 从器件发送模式或受控接收器模式下工作。下面的章节对这些模式进行了讨论。用时序线路来对这些模式进行阐明。

图 17-8 给出了如何解释这些时序线路图表。主器件发送的数据用灰色的矩形块表示, 从器件发送的数据用白色的矩形块表示。不管作为主器件还是从器件, 稍高的矩形块表示的是由 USCI 模块发送的数据。

USCI 模块的行为用一个带箭头的灰色矩形块表示, 其箭头所指的数据流位置就是动作发生的地方。那些必须用软件处理的动作由带箭头的白色矩形方块表示, 箭头指向的是数据流中动作必须发生的位置。

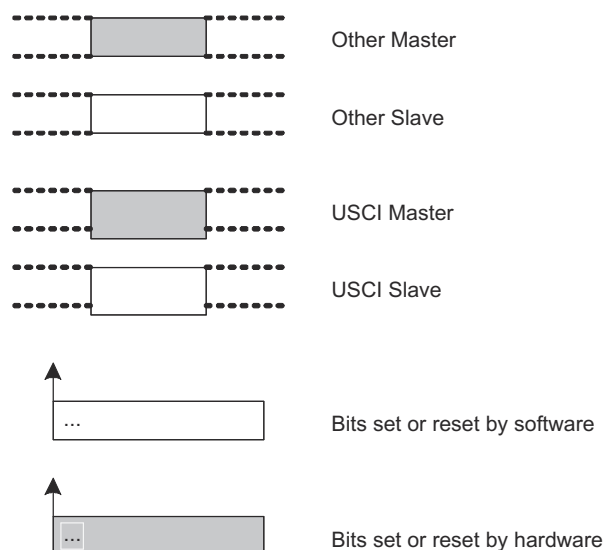


图 17-8. I2C 时序线路图例

17.3.4.1 受控模式

通过把 I2C 模式设置为 UCMODEx=11 和 USCYNCR=1, 并清除 UCMST 位, USCI 模块被配置为一个 I2C 从器件。

首先, USCI 模块必须在接收模式下通过清除 UCTR 位进行配制, 以便接收 I2C 从器件地址。之后, 发送和接收操作是由与从器件一起接收到的 R/W 位自动决定。

USCI 从器件地址是由 UCBxI2COA 寄存器编程的。当 UCA10=0 时, 选用 7 位寻址方式。当 UCA10=1 时, 选用 10 位寻址方式。如果从器件响应一个常规调用, 则可以选择 UCGCEN 位。

当在总线上检测到起始条件时, USCI 模块将接收传送过来的地址, 并将之与存储在 UCBxI2C0A 中的本器件地址相比较。若接收地址与 USCI 从器件地址一致, 则置位 UCSTTIFG 标志。

17.3.4.1.1 I²C 受控发送器模式

当主器件发送的从器件地址和带有一个设置 R/W 位的其自身地址相匹配时, 从器件进入发送模式。受控传输器依靠主器件产生的时钟脉冲信号在 SDA 上移位传输串行数据。从器件不能产生时钟, 但是当发送完一个字节后需要 CPU 的干预时, 从器件能够保持 SCL 为低电平。

如果主器件向从器件请求数据, USCI 模块会自动配置为发送模式, 并置位 UCTR 和 UCBxTXIFG。在数据未写入发送缓存 UCBxTXBUF 之前, SCL 时钟线一直保持低电平。当地址被响应后, 清除 UCSTTIFG 标志, 然后开始传输数据。一旦数据被转移到移位寄存器, UCBxTXIFG 将再次被置位。被主器件确认之后, 下一个被写入 UCBxTXBUF 中的字节数据开始传输, 或发送缓冲区为空, 通过一直保持 SCL 为低电平直到新的数据被写到 UCBxTXBUF 内, 在应答周期内总线被挂起。假如主器件通过一个停止条件成功发送了一个 NACK 信号, 则 UCSTPIFG 被置位。如若 NACK 被一个重复起始条件成功发送, 则 USCI I²C 状态机返回至其地址接收状态。

图 17-9 给出了受控发送器运行。

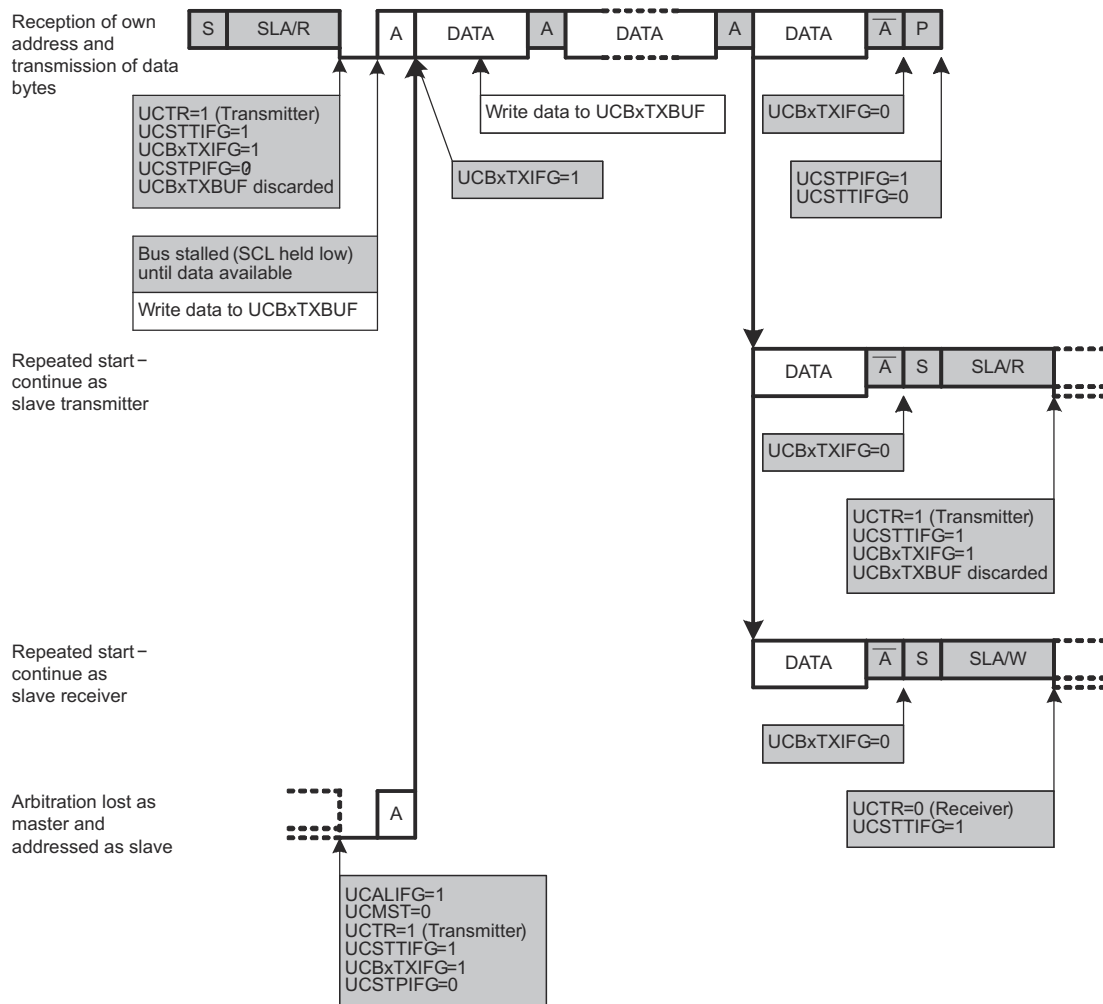


图 17-9. I²C 从发送器模式

17.3.4.1.2 I²C 从接收器模式

当主器件发送的从器件地址和其本地地址相匹配, 且接收到被清零的 R/W 时, 从器件进入接收模式。在从器件接收模式中, 从器件根据主器件产生的时钟脉冲信号在 SDA 上接收串行数据。从设备不能产生时钟, 但是当一个字接收完毕需要 CPU 的干预时, 从器件可保持 SCL 为低电平。

如果从器件需要接收主器件发送过来的数据, 则 USCI 模块将自动配置为接收, 并将 UCTR 清零。在接收完第一个数据字节后, 接收中断标志 UCBxRXIFG 被置位。USCI 模块会自动应答接收到的数据并可接收下一个数据字节。

如果在一个接收完成之后没能从接收缓存 UCBxRXBUF 内读出前一个数据, 则通过保持 SCL 为低电平, 总线被停止。一旦 UCBxRXBUF 被读取, 新数据就会被传输到 UCBxRXBUF, 就会把一个应答信号给主器件, 然后开始下一个数据的接收。

置位 UCTXNACK 会导致在下一个应答周期内发送一个 NACK 信号给主器件。即使 UCBxRXBUF 没有准备好接收最新数据, 也将会立即发送一个 NACK。如果在 SCL 为低电平时置位 UCTXNACK 将会释放总线, 并马上会发送一个 NACK 信号, 同时 UCBxRXBUF 将装载最后一次接收到的数据。由于先前的数据还没有被读出, 这将造成数据丢失。为了避免数据丢失, 需要在设置 UCTXNACK 之前读取 UCBxRXBUF。

当主设备产生一个停止条件时, UCSTPIFG 标志被置位。

如果主器件产生一个重复起始条件时, 则 USCI I2C 将返回到地址接收状态。

图 17-10 给出了 I2C 从接收器操作。

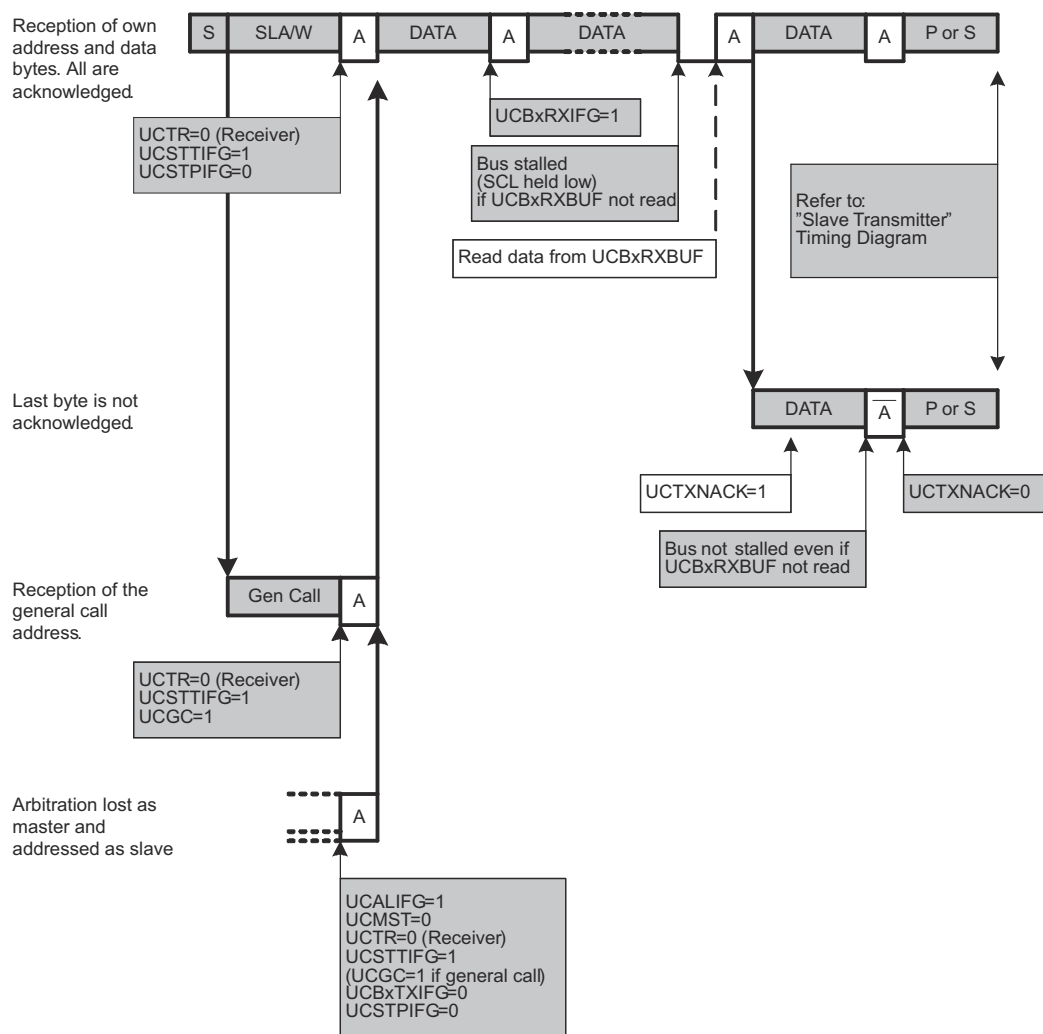


图 17-10. I2C 从接收器模式

17.3.4.1.3 I²C 从器件 10 位寻址模式

如在图 17-11 中所示, 当 UCA 10=1 时选用 10 位寻址模式。在 10 位寻址模式下, 整个地址接收完毕后从器件处于接收模式。USCI 模块会通过清零 UCTR 位的同时置位 UCSTTIFG 来指明上述操作。若需要将器件切换到发送模式, 则需要主器件在发送一个重复起始条件后紧接着发送最开始的地址字节, 同时发送 R/W 位置位。若标志 UCSTTIFG 之前被软件清除, 同时 USCI 模块转变为发送模式, 且 UCTR =1, 那么此时将被置位。

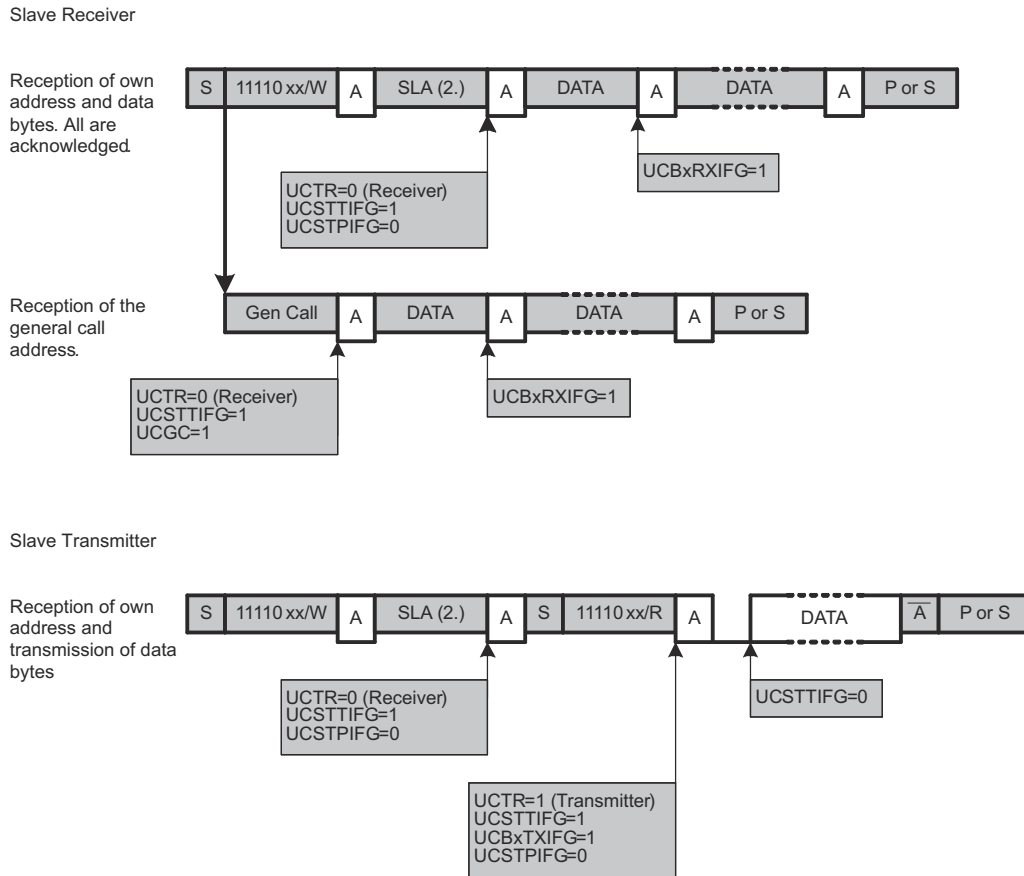


图 17-11. I²C 从器件 10 位寻址模式

17.3.4.2 主控模式

通过把 I²C 模式设置为 UCMODEx= 11 和 USCYNC=1, 并置位 UCMST 位, USCI 模块被配置为一个 I²C 主器件。当主器件是多主器件系统的一部分时, 必须置位 UCMM, 并且其自身地址必须被编入 UCBxI2COA 寄存器。当 UCA10=0 时, 选用 7 位寻址方式。当 UCA10=1 时, 选用 10 位寻址方式。如果 USCI 模块响应常规调用, 则可以选择 UCGCEN 位。

17.3.4.2.1 I²C 主发送器模式

初始化之后, 通过把目标从器件地址写入寄存器 UCBxI2CSA、用 UCSLA 10 位来选择从器件地址的位数、置位 UCTR 来选择发送模式、置位 UCTXSTT 来产生一个起始条件, 主控发送器模式才被初始化。

USCI 模块先检测总线是否空闲, 之后产生一个起始条件, 并传送从器件地址。当起始条件产生, CBxTXIFG 将被置位, 并将要发送的第一个数据写入 UCBxTXBUF 中。一旦从器件对地址作出应答, UCTXSTT 位会被清零。

在从器件地址的发送过程中, 如果仲裁没有失效, 那么会已发送写入到 UCBxTXBUF 中的数据。一旦数据由缓冲区转移到移位寄存器, UCBxTXIFG 将再次置位。如果在应答周期到来之前 UCBxTXBUF 中没有装载新数据, 那么在应答周期过程中总线将被挂起, SCL 将保持拉低电平状态, 直到数据写入缓存器 UCBxTXBUF 中。只要 UCTXSTP 位或 UCTXSTT 位没被置位, 数据就就会被传输或总线被保持。

在从器件下一个应答信号到来之后, 置位 UCTXSTP 将会产生一个停止条件。如果在从器件的地址传送过程或者是 USCI 模块等待把数据写入 UCBxTXBUF 的过程中置位 UCTXSTP, 则即使没有数据被发送到从器件依旧会产生一个停止条件。如果传送的是单字节数据, 在字节传送过程中或者在数据传输开始后必须置位 UCTXSTP, 不要将任何新的数据写入 UCBxTXBUF。否则, 会造成只传送地址。当数据由缓冲器转移到发送移位寄存器时, UCBxTXIFG 将被置位, 这表示着数据传输已经开始, 可以置位 UCTXSTP 了。

置位 UCTXSTT 将会产生一个重复起始条件。在这种情况下, 可以通过置位或清零 UCTR, 以便配置为发送器或接收器。

如果从器件没有响应发送的数据, 则未响应中断标志 UCNACKIFG 会被置位。主器件必须发送一个停止条件或者重复起始条件的方式来响应。如果已经把数据写入 UCBxTXBUF, 那么当前数据将被丢弃。如果在一个重复起始条件后, 这个数据还要发送出去, 则必须重新将其写入 UCBxTXBUF。任何置位 UCTXSTT 也会被丢弃。若要触发一个重复起始条件, UCTXSTT 需要重新被置位。

图 17-12 给出了 I²C 主器件发送操作。

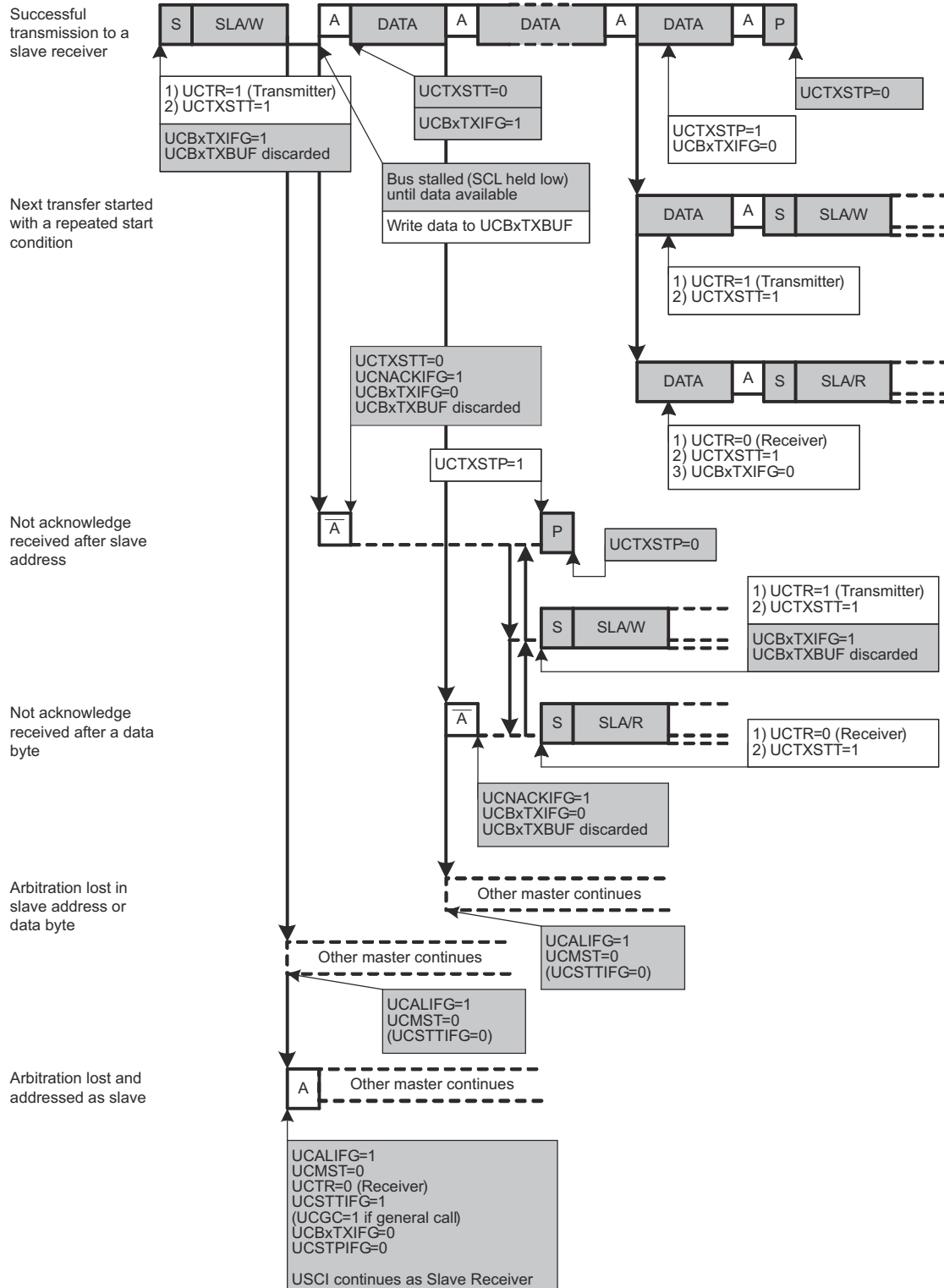


图 17-12. I²C 主发送器模式

17.3.4.2.2 I²C 主接收器模式

初始化之后, 通过把目标从器件地址写入寄存器 UCBxI2CSA、用 UCSLA 10 位来选择从器件地址的位数、置位 UCTR 来选择发送模式、置位 UCTXSTT 来产生一个起始条件, 主器件接收模式才被初始化。

USCI 模块先检测总线是否空闲, 之后产生一个起始条件, 并传送从器件地址。一旦从器件对地址作出应答, UCTXSTT 位会被清零。

在从器件对地址应答后, 将接收到从器件发送的第一个数据字节并发送应答信号, 同时置位 UCBxRXIFG 标志。只要 UCTXSTP 或 UCTXSTT 不被置位, 就能接收到从器件发来的数据。若没有读取 UCBxRXBUF, 那么主器件将在接收最后到一个数据位后挂起总线直到 UCBxRXBUF 被读取。

如果从器件没有响应发送的地址, 则未响应中断标志 UCNACKIFG 会被置位。主器件必须发送一个停止条件或者重复起始条件的方式来响应。

置位 UCTXSTP 将会产生一个停止条件。置位 UCTXSTP 后, 主器件将在接收完从设备传送的数据后发出一个 NACK, 并紧接着发送一个停止, 或者如果在 USCI 模块正在等待读取 UCBxRXBUF 时, 将立即产生停止。

如果主及想接收一个单字节数据, 那么在接收字节的过程中必须将 UCTXSPT 位置位。在这种情况下, 可以通过查询 UCTXSTT 来确定何时将被清除:

```

        BIS.B   #UCTXSTT,&UCBOCTL1   ;Transmit START cond.
POLL_STT BIT.B   #UCTXSTT,&UCBOCTL1   ;Poll UCTXSTT bit
        JC     POLL_STT             ;When cleared,
        BIS.B   #UCTXSTP,&UCBOCTL1   ;transmit STOP cond.
    
```

置位 UCTXSTT 将会产生一个重复起始条件。在这种情况下, 可以通过置位或清零 UCTR, 以便配置为发送器或接收器。

图 17-13 给出了 I²C 主控接收器操作。

备注

无重复启动的连续主器件事务

在不使用重复起始功能的情况下, 当进行多个连续 I²C 主器件传输时, 当前传输必须在下一个传输初始化完成之前结束。通过确保在设置 UCTXSTT = 1 启动下一个 I²C 事务之前清除传输停止条件标志 UCTXSTP, 可以实现这一点。否则, 将会影响当前的传输。

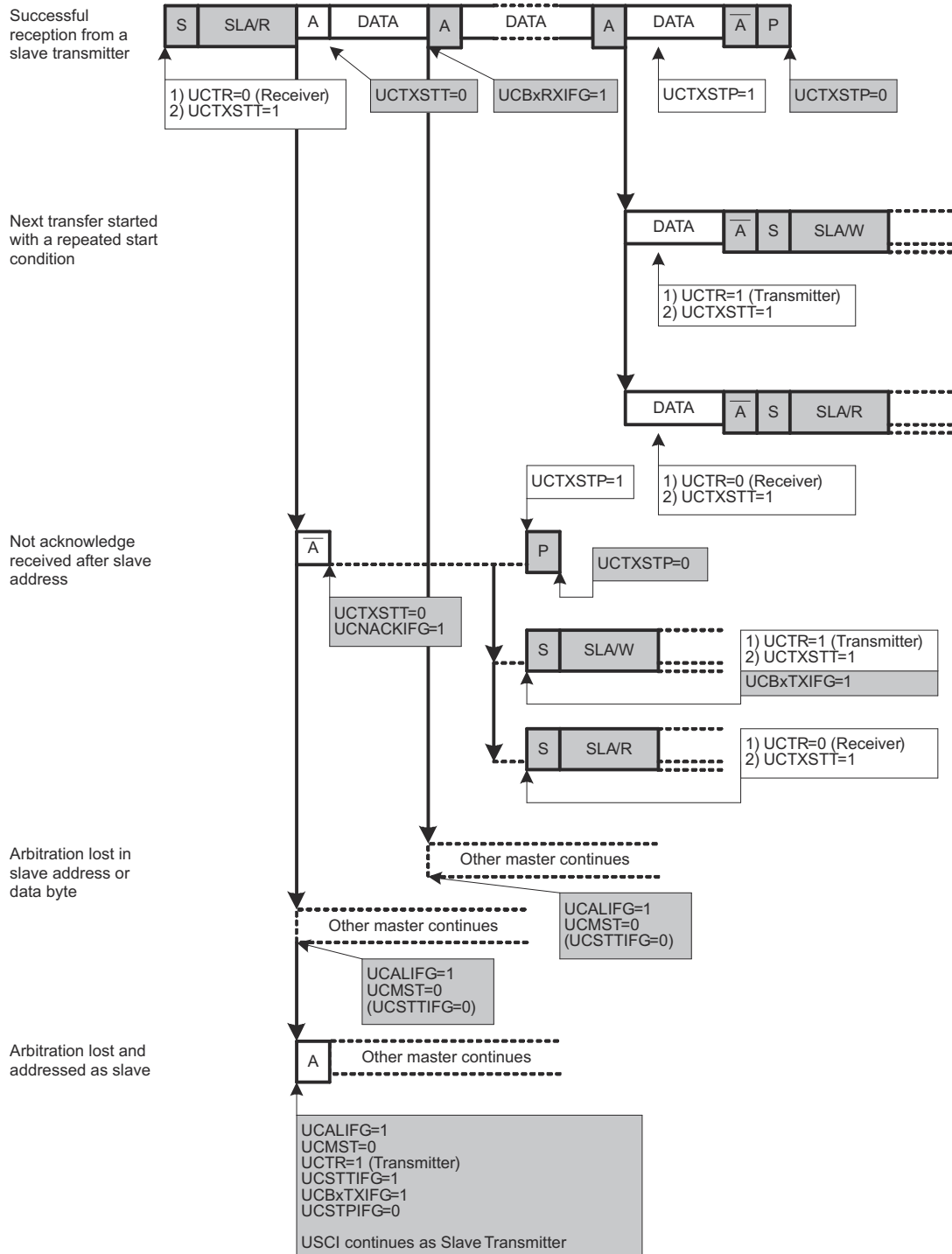


图 17-13. I²C 主接收器模式

17.3.4.2.3 I2C 主器件 10 位寻址模式

如在图 17-14 中所示, 当 USCLA 10=1 时选用 10 位寻址模式。

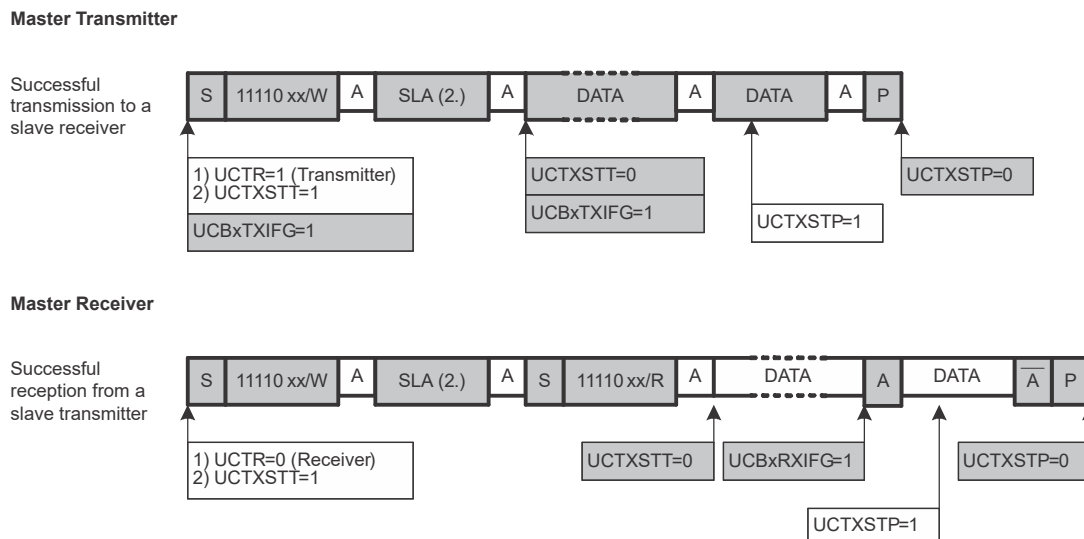


图 17-14. I2C 主器件 10 位寻址模式

17.3.4.2.4 仲裁

如果两个或更多主发送器同时开始在总线上进行传输, 则调用仲裁程序。图 17-15 描述了对两个器件间的仲裁程序。仲裁程序使用由相互竞争的发送器发送到 SDA 上的数据。生成一个逻辑高电平的第一个主发送器将被逻辑低电平的和其竞争的主发送器覆盖。仲裁进程将优先权授予用最低二进制值传送串行数据流的器件。失去仲裁的主控发送器将转换成受控接收器模式, 并置位仲裁失去标志 UCALIFG。如果两个或两个以上的器件发送相同的第一个字节, 则仲裁会在后续字节中继续发生作用。

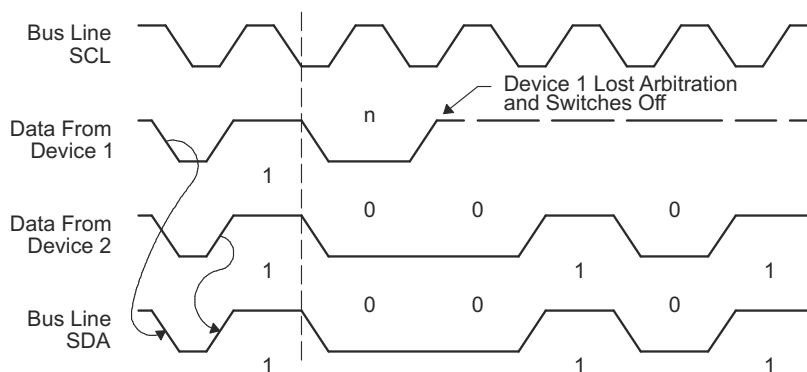


图 17-15. 在两个主发送器之间的仲裁

如果在仲裁正在进行中, 在 SDA 上一个有重复起始条件或者停止条件在传送时, 那么在仲裁进程中的所有主控发送器都必须在帧格式中的同一个位置发送重复起始或者停止条件。仲裁不会在下列几组间发生:

- 一个重复起始条件和数据位之间
- 一个停止条件和数据位之间
- 一个重复起始条件和一个停止条件之间

17.3.5 I2C 时钟的发生与同步

I2C 时钟 SCL 由 I2C 总线上的主器件提供。当 USCI 处于主模式时, BITCLK 由 USCI 位时钟发生器提供, 可通过 UCSSELx 位选择时钟源。在从模式下, 位时钟发生器不工作, 且 UCSSELx 位无效。

寄存器 UCBxBR1 和 UCBxBR0 中 UCBRx 的 16 位值是 USCI 时钟源 BRCLK 的分频因子。单主器件模式下可使用的最大位时钟为 $f_{BRCLK}/4$ 。在多主器件模式下，最大位时钟为 $f_{BRCLK}/8$ 。BITCLK 的频率可由以下得到：

$$f_{\text{BitClock}} = \frac{f_{\text{BRCLK}}}{\text{UCBRx}}$$

生成的 SCL 的最小高电平和低电平周期是

$$t_{\text{LOW,MIN}} = t_{\text{HIGH,MIN}} = \frac{\text{UCBRx} / 2}{f_{\text{BRCLK}}} \quad (\text{当 UCBRx 为偶数时}) \text{ 以及}$$

$$t_{\text{LOW,MIN}} = t_{\text{HIGH,MIN}} = \frac{(\text{UCBRx} - 1) / 2}{f_{\text{BRCLK}}} \quad (\text{当 UCBRx 为奇数时})。$$

为了满足 I²C 总线协议规定的最小高低电平周期，必须选择 USCI 时钟源的频率和 UCBRx 的分频因子设置。

在仲裁进程中，来自不同主器件的时钟必须进行同步处理。在 SCL 上第一个产生低电平周期的器件会驳回其他器件，以便迫使其他器件也起始其本地低电平周期。之后 SCL 被低电平周期最长的器件保持为低电平。其他器件必须首先等待 SCL 被释放，然后才能开始其高电平周期。图 17-16 显示了时钟的同步。这允许低速器件把高速器件拉低。

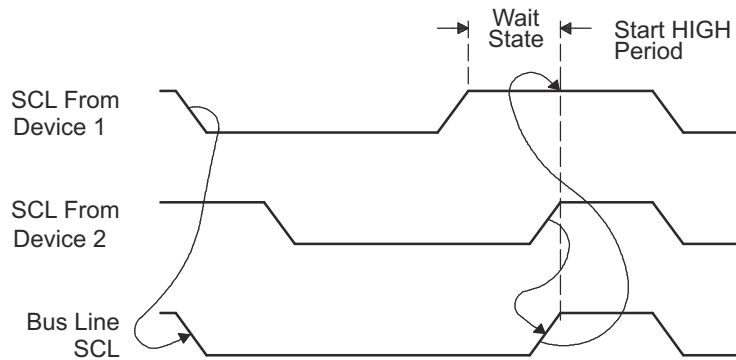


图 17-16. 在仲裁期间两个 I²C 时钟发生器的同步

17.3.5.1 时钟扩展

USCI 模块支持时钟扩展并可以和上述操作模式中讲述的一样进行使用。

在下列几种情况下，如果 USCI 模块已经释放了 SCL，可以用 UCSCLOW 位来检查是否其他的器件把 SCL 拉低。

- USCI 作为主器件，且一个连接的从器件将 SCL 拉低。
- USCI 作为主器件，在仲裁进程中其他主器件把 SCL 拉低。

如果 USCI 模块由于作为发送器等待数据写入 UCBxTXBUF 或者是作为接收器等待从 UCBxRXBUF 中读取数据而把 SCL 拉低时，UCSCLOW 位同样可用。

由于逻辑检查外部 SCL，并把它与内部生成的 SCL 相比较之后才产生 SCL，所以在每一个 SCL 产生上升沿的瞬间 UCSCLOW 位就有可能被置位。

17.3.6 在处于低功耗模式中的 I²C 模式中使用 USCI 模块

为了在低功耗模式下使用, USCI 模块为 SMCLK 提供了自动时钟激活。当 SMCLK 是 USCI 的时钟源并无效时, 由于器件处于一个低功耗模式, 如果需要, USCI 模块都可忽略时钟源控制位设置而自动激活。直到 USCI 模块回到其空闲状态, 时钟都会保持激活条件。USCI 模块恢复空闲条件后, 时钟源的控制权会恢复到其控制位的设置。不为时钟信号 (ACLK) 提供自动时钟激活。

当 USCI 模块激活一个无效的时钟源时, 该时钟源将为整个设备变得活跃, 并且这可能会影响到任何为了使用而被配置的外围设备时钟源。例如, 当 USCI 模块迫使 SMCLK 激活时, 一个使用 SMCLK 的定时器将递增。

在 I²C 模式下, 由于时钟是由外部主器件提供, 所以就不需要内部时钟源。在器件处于 LPM4 状态下并且所有内部时钟源被禁止时, 就可以实现在 I²C 受控模式中操作 USCI。接收或者发送中断可以将 CPU 从任何一种低功耗模式中唤醒。

17.3.7 I²C 模式下的 USCI 中断

在 I²C 模式中 USCI 模块有两个中断矢量。一个中断矢量与发送和接收中断标志相关联。另一个中断矢量的与状态变化中断标志相关联。每个中断标志都有其本地中断使能位。当一个中断被使能, 且 GIE 位被置位时, 该中断标志将会生成一个中断请求。在有 DMA 控制器的器件上 DMA 传输将由 UCBxTXIFG 和 UCBxRXIFG 标志控制。

17.3.7.1 I²C 发送中断操作

为了说明 UCBxTXBUF 已经为接收下一个字符做好了准备, UCTXIFG 中断标志会被发送器置位。如果此时 UCBxTXIE 和 GIE 也被置位, 就会产生一个中断请求信号。如果一个字符被写入 UCBxTXBUF 或者接收到 NACK, UCBxTXIFG 会自动复位。当选择 I²C 模式并且 UCSWRST=1 时, UCTXIFG 会被置位。在一个 PUC 后或者当 UCSWRST=1 时, UCBxTXIE 被复位。

17.3.7.2 I²C 接收中断操作

当接收到一个字节并被装载到 UCBxRXBUF 中时, UCBxRXIFG 中断标志被置位。如果此时 UCBxRXIE 和 GIE 也被置位, 就会产生一个中断请求信号。UCBxRXIFG 和 UCBxRXIE 在接收到 PUC 信号之后或 UCSWRST = 1 时复位。在读取 UCxRXBUF 时, UCxRXIF 会自动复位。

17.3.7.3 I²C 状态更改中断操作

表 17-1 描述了 I²C 状态更改中断标志。

表 17-1. 状态更改中断标志

中断标志	中断条件
UCALIFG	仲裁丢失。在两个或两个以上的发送器同时开始发送数据时, 或者是当 USCI 作为主器件工作, 但被系统中其他主器件作为从器件来寻址时, 可能会发生仲裁丢失。当仲裁丢失时, UCALIFG 标志被置位。当 UCALIFG 被置位时, UCMST 位被清零, 同时 I ² C 模块变成一个从器件。
UCNACKIFG	无应答中断。当接收不到预期的应答时此标志被置位。当接收到一个起始条件时, UCNACKIFG 被自动清零。
UCSTTIFG	起始条件检测到的中断。在受控模式下, 当 I ² C 模块检测到一个带有其本地地址的起始条件时, 该标志会被置位。UCSTPIFG 只能在受控模式下使用, 并且在接收到一个停止条件时被自动清零。
UCSTPIFG	停止条件检测到的中断。在受控模式下, 当 I ² C 模块检测到一个停止条件时, 该标志会被置位。UCSTPIFG 只能在受控模式下使用, 并且在接收到一个起始条件时被自动清零。

17.3.7.4 中断矢量的分配

USCI_Ax 和 USCI_Bx 共享同一个中断矢量。在 I²C 模式下, 来自 USCI_Bx 的状态变化中断标志 UCSTTIFG、UCSTPIFG、UCNACKIFG、UCALIFG 以及来自 USCI_Ax 的 UCAxRXIFG 被路由到一个中断向量。I²C 发射和接收中断标志 UCBxTXIFG 和来自 USCI_Bx 的 UCBxRXIFG 以及来自 USCI_Ax 的 UCAxTXIFG 共享另一个中断向量。

示例 17-1 展示了一个中断处理例程的提取, 该提取被用来处理处于 UART 或 SPI 模式下的 USCI_A0 的数据接收中断, 并且用于处理处于 I²C 模式下的来自 USCI_B0 的更改中断。

示例 17-1. 共享的接收中断矢量软件示例

```

USCIA0_RX_USCIB0_I2C_STATE_ISR
    BIT.B    #UCA0RXIFG, &IFG2 ; USCI_A0 Receive Interrupt?
    JNZ     USCIA0_RX_ISR
USCIB0_I2C_STATE_ISR
    ; Decode I2C state changes ...
    ; Decode I2C state changes ...
    ...
    RETI
USCIA0_RX_ISR
    ; Read UCA0RXBUF ...- clears UCA0RXIFG
    ...
    RETI

```

示例 17-2. 共享的发送中断矢量软件示例

```

USCIA0_TX_USCIB0_I2C_DATA_ISR
    BIT.B    #UCA0TXIFG, &IFG2 ; USCI_A0 Transmit Interrupt?
    JNZ     USCIA0_TX_ISR
USCIB0_I2C_DATA_ISR
    BIT.B    #UCB0RXIFG, &IFG2
    JNZ     USCIB0_I2C_RX
USCIB0_I2C_TX
    ; Write UCB0TXBUF...- clears UCB0TXIFG
    ...
    RETI
USCIB0_I2C_RX
    ; Read UCB0RXBUF...- clears UCB0RXIFG
    ...
    RETI
USCIA0_TX_ISR
    ; Write UCA0TXBUF ...- clears UCA0TXIFG
    ...
    RETI

```

17.4 USCI 寄存器 : I²C 模式

表 17-2 列出了 I²C 模式下 USCI_Bx 的存储器映射寄存器。

表 17-2. USCI_Bx 控制和状态寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
68h	UCB0CTL0	USCI_B0 控制 0	读取/写入	PUC 后为 01h	节 17.4.2
69h	UCB0CTL1	USCI_B0 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 17.4.3
6Ah	UCB0BR0	USCI_B0 位速率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.4
6Bh	UCB0BR1	USCI_B0 位速率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.4
6Ch	UCB0I2CIE	USCI_B0 I ² C 中断使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.11
6Dh	UCB0STAT	USCI_B0 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.6
6Eh	UCB0RXBUF	USCI_B0 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 17.4.7
6Fh	UCB0TXBUF	USCI_B0 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.8
118h	UCB0I2COA	USCI_B0 I ² C 自身的地址	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.9
11Ah	UCB0I2CSA	USCI_B0 I ² C 从器件地址	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.10
1h	IE2	SFR 中断使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.12
3h	IFG2	SFR 中断标志 2	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 17.4.13
0D8h	UCB1CTL0	USCI_B1 控制 0	读取/写入	PUC 后为 01h	节 17.4.2
0D9h	UCB1CTL1	USCI_B1 控制 1	读取/写入	PUC 后为 01h	节 17.4.2
0DAh	UCB1BR0	USCI_B1 比特率控制 0	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.4
0DBh	UCB1BR1	USCI_B1 比特率控制 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.4
0DCh	UCB1I2CIE	USCI_B1 I ² C 中断使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.11
0DDh	UCB1STAT	USCI_B1 状态	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.6
0DEh	UCB1RXBUF	USCI_B1 接收缓冲器	读取	PUC 后为 00h	节 17.4.7
0DFh	UCB1TXBUF	USCI_B1 发送缓冲器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.8
17Ch	UCB1I2COA	USCI_B1 I ² C 自身的地址	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.9
17Eh	UCB1I2CSA	USCI_B1 I ² C 从器件地址	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.10
6h	UC1IE	USCI_A1/B1 中断启用	读取/写入	PUC 后为 00h	节 17.4.14
7h	UC1IFG	USCI_A1/B1 中断标志	读取/写入	PUC 后为 0Ah	节 17.4.15

备注

修改 SFR 位

为了避免修改其他模块的控制位, TI 建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令 (而非 MOV.B 或 CLR.B 指令) 来设置或清除 IEx 和 IFGx 位。

17.4.1 UCBxCTL0 寄存器

USCI_Bx 控制 0 寄存器

图 17-17 展示了 UCBxCTL0，表 17-3 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-17. UCBxCTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCA10	UCSLA10	UCMM	未使用	UCMST	UCMODEx=11		UCSYNC=1
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r-1

表 17-3. UCBxCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UCA10	R/W	0h	自身寻址模式选择 0b = 自身的地址是一个 7 位地址 1b = 自身的地址是一个 10 位地址
6	UCSLA10	R/W	0h	从器件寻址模式选择 0b = 使用 7 位地址对从器件进行寻址 1b = 寻址具有 10 位地址的从器件
5	UCMM	R/W	0h	多主器件环境选择 0b = 单一主器件环境。该系统内没有别的主器件。地址比较单元被禁用。 1b = 多主器件环境
4	未使用	R/W	0h	未使用
3	UCMST	R/W	0h	主模式选择。当一个主器件在一个多主器件环境下 (UCMM = 1) 丢失仲裁时，UCMST 位就会自动清零，且该模块被视作从器件。 0b = 从模式 1b = 主器件模式
2-1	UCMODEx	R/W	0h	USCI 模式。当 UCSYNC=1 时，UCMODEx 位选择同步模式。 00b = 3 引脚 SPI 01b = 4 引脚 SPI (如果 STE= 1，主器件/从器件被启用) 10b = 4 引脚 SPI (如果 STE= 0，主器件/从器件被启用) 11b = I ² C 模式
0	UCSYNC	R	1h	同步模式使能 0b = 异步模式 1b = 同步模式

17.4.2 UCBxCTL1 寄存器

USCI_Bx 控制 1 寄存器

图 17-18 展示了 UCBxCTL1，表 17-4 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-18. UCBxCTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCSSELx	未使用	UCTR	UCTXNACK	UCTXSTP	UCTXSTT	UCSWRST	
rw - 0	rw - 0	r0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 17-4. UCBxCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	UCSSELx	R/W	0h	USCI 时钟源选择。这些位选择 BRCLK 时钟源。 00b = UCLKI 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = SMCLK
5	未使用	R	0h	未使用
4	UCTR	R/W	0h	发送器或接收器。 0b = 接收器 1b = 发送器
3	UCTXNACK	R/W	0h	发送一个 NACK。在一个 NACK 发送完毕后，UCTXNACK 自动复位。 0b = 正常确认 1b = 生成 NACK
2	UCTXSTP	R/W	0h	在主模式下发送停止条件。在从模式下忽略。在主接收器模式下，一个 NACK 位于停止条件之前。在停止生成后，UCTXSTP 被自动清零。 0b = 无停止生成 1b = 生成停止
1	UCTXSTT	R/W	0h	在主模式下发送起始条件。在从模式下忽略。在主接收器模式下，一个 NACK 位于一个重复起始条件之前。在起始条件和地址信息被发送后，UCTXSTT 自动清零。在从模式下忽略。 0b = 不生成 START 条件 1b = 生成起始条件
0	UCSWRST	R/W	1h	软件复位使能 0b = 禁用。释放 USCI 复位以便进行操作。 1b = 启用。在复位状态中 USCI 逻辑状态被保持。

17.4.3 UCBxBR0 寄存器

USCI_Bx 比特率控制 0 寄存器

图 17-19 展示了 UCBxBR0，表 17-5 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-19. UCBxBR0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBRx (低字节)							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 17-5. UCBxBR0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBRx	R/W	0h	位时钟预分频器设置。(UCBxBR0+ UCBxBR1×256) 的 16 位值构成预分频值。

17.4.4 UCBxBR1 寄存器

USCI_Bx 比特率控制 1 寄存器

图 17-20 展示了 UCBxBR1，表 17-6 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-20. UCBxBR1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCBRx (高字节)							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 17-6. UCBxBR1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCBRx	R/W	0h	位时钟预分频器设置。(UCBxBR0+ UCBxBR1×256) 的 16 位值构成预分频值。

17.4.5 UCBxSTAT 寄存器

USCI_Bx 状态寄存器

图 17-21 展示了 UCBxSTAT，表 17-7 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-21. UCBxSTAT 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用	UCSCLLOW	UCGC	UCBBUSY	UCNACKIFG	UCSTPIFG	UCSTTIFG	UCALIFG
rw-0	r-0	rw-0	r-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

表 17-7. UCBxSTAT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	未使用	R/W	0h	未使用
6	UCSCLLOW	R	0h	SCL 低电平 0b = SCL 未保持低电平 1b = SCL 被保持在低电平
5	UCGC	R/W	0h	接收到常规调用地址。当接收到一个起始条件时，UCGC 被自动清零。 0b = 未接收到常规调用地址 1b = 接收到常规调用地址
4	UCBBUSY	R	0h	总线忙 0b = 总线处于无效状态 1b = 总线忙
3	UCNACKIFG	R/W	0h	不应答接收到的中断标志。当接收到一个起始条件时，UCNACKIFG 被自动清零。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	UCSTPIFG	R/W	0h	停止条件中断标志。当接收到一个起始条件时，UCSTPIFG 被自动清零。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	UCSTTIFG	R/W	0h	起始条件中断标志。当接收到一个停止条件时，UCSTTIFG 被自动清零。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
0	UCALIFG	R/W	0h	仲裁丢失中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

17.4.6 UCBxRXBUF 寄存器

USCI_Bx 接收缓冲寄存器

图 17-22 展示了 UCBxRXBUF, 表 17-8 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-22. UCBxRXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCRXBUFx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 17-8. UCBxRXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCRXBUFx	R	0h	接收数据缓冲是用户可以访问的, 并包含从接收移位寄存器那里最后接收到的字符。读取 UCBxRXBUF 将复位 UCBxRXIFG。

17.4.7 UCBxTXBUF 寄存器

USCI_Bx 发送缓冲寄存器

图 17-23 展示了 UCBxTXBUF, 表 17-9 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-23. UCBxTXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UCTXBUFx							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 17-9. UCBxTXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UCTXBUFx	R/W	0h	发送数据缓冲是用户可以访问的, 并包含等待被移入发送移位寄存器以及已经发出的数据。写入发送数据缓冲将会清除 UCBxTXIFG。

17.4.8 UCBxI2COA 寄存器

USCI_Bx I²C 自身的地址寄存器

图 17-24 展示了 UCBxI2COA, 表 17-10 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-24. UCBxI2COA 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
UCGCEN		保留				I2COAx	
rw-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-0	rw-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
I2COAx							
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

表 17-10. UCBxI2COA 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	UCGCEN	R/W	0h	通用常规地址使能 0b = 不响应一个常规调用 1b = 响应一个常规调用
14-10	保留	R	0h	
9-0	I2COAx	R/W	0h	I ² C 自身的地址。I2COAx 位包含 USCI_Bx I ² C 控制器的本地地址。该地址是右对齐的。在 7 位寻址模式中, 位 6 是 MSB, 位 9-7 被忽略。在 10 位寻址模式中, 位 9 是 MSB。

17.4.9 UCBxI2CSA 寄存器

USCI_Bx I²C 从器件地址寄存器

图 17-25 展示了 UCBxI2CSA, 表 17-11 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-25. UCBxI2CSA 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留						I2CSAx	
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-0	rw-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
I2CSAx							
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

表 17-11. UCBxI2CSA 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-10	保留	R	0h	
9-0	I2CSAx	R/W	0h	I ² C 从器件地址。I2CSAx 位包含了由 USCI_Bx 模块寻址的外部器件的从器件地址。它仅用于主控模式。该地址是右对齐的。在 7 位从器件寻址模式中, 位 6 是 MSB, 位 9-7 被忽略。在 10 位从器件寻址模式中, 位 9 是 MSB。

17.4.10 UCBxI2CIE 寄存器

USCI_Bx I²C 中断使能寄存器

图 17-26 展示了 UCBxI2CIE，表 17-12 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-26. UCBxI2CIE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留				UCNACKIE	UCSTPIE	UCSTTIE	UCALIE
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 17-12. UCBxI2CIE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	保留	R/W	0h	
3	UCNACKIE	R/W	0h	不确认中断使能。 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	UCSTPIE	R/W	0h	停止条件中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
1	UCSTTIE	R/W	0h	起始条件中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
0	UCALIE	R/W	0h	仲裁丢失中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

17.4.11 IE2 寄存器

SFR 中断使能 2 寄存器

图 17-27 展示了 IE2, 表 17-13 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-27. IE2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
				UCB0TXIE	UCB0RXIE		
				rw - 0			

表 17-13. IE2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表) 。
3	UCB0TXIE	R/W	0h	USCI_B0 发送中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	UCB0RXIE	R/W	0h	USCI_B0 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能
1-0				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表) 。

17.4.12 IFG2 寄存器

SFR 中断标志 2 寄存器

图 17-28 展示了 IFG2, 表 17-14 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-28. IFG2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
				UCB0TXIFG	UCB0RXIFG		
				rw - 1		rw - 0	

表 17-14. IFG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表) 。
3	UCB0TXIFG	R/W	1h	USCI_B0 发送中断标志。当 UCB0TXBUF 为空时, UCB0TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	UCB0RXIFG	R/W	0h	USCI_B0 接收中断标志。当 UCB0RXBUF 收到一个完整字符时, UCB0RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1-0				这些位可以用于其他模块 (请参阅器件专用数据表) 。

17.4.13 UC1IE 寄存器

USCI_A1/B1 中断使能寄存器

图 17-29 展示了 UC1IE，表 17-15 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-29. UC1IE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用			UCB1TXIE	UCB1RXIE			
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0		

表 17-15. UC1IE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	未使用
3	UCB1TXIE	R/W	0h	USCI_B1 发送中断启用 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	UCB1RXIE	R/W	0h	USCI_B1 接收中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能
1-0				这些位可以被其他的 USCI 模块使用 (请参阅器件专用数据表) 。

17.4.14 UC1IFG 寄存器

USCI_A1/B1 中断标志寄存器

图 17-30 展示了 UC1IFG，表 17-16 中对此进行了介绍。

返回表 17-2。

图 17-30. UC1IFG 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用			UCB1TXIFG	UCB1RXIFG			
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1	rw - 0		

表 17-16. UC1IFG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	未使用	R/W	0h	未使用
3	UCB1TXIFG	R/W	0h	USCI_B1 发送中断标志。当 UCB1TXBUF 为空时，UCB1TXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
2	UCB1RXIFG	R/W	0h	USCI_B1 接收中断标志。当 UCB1RXBUF 收到一个完整字符时，UCB1RXIFG 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1-0				这些位可以被其他的 USCI 模块使用 (请参阅器件专用数据表) 。

This page intentionally left blank.

USART 外设接口, USART 模式



通用同步/异步接收/发送器 (USART) 外设接口支持在同一硬件模块中的两个串行模式。本章讨论异步 UART 模式的运行。MSP430AFE2xx 器件上应用了 USART0。

18.1 USART 简介 : UART 模式	512
18.2 USART 操作 : UART 模式	513
18.3 USART 寄存器 - UART 模式	527

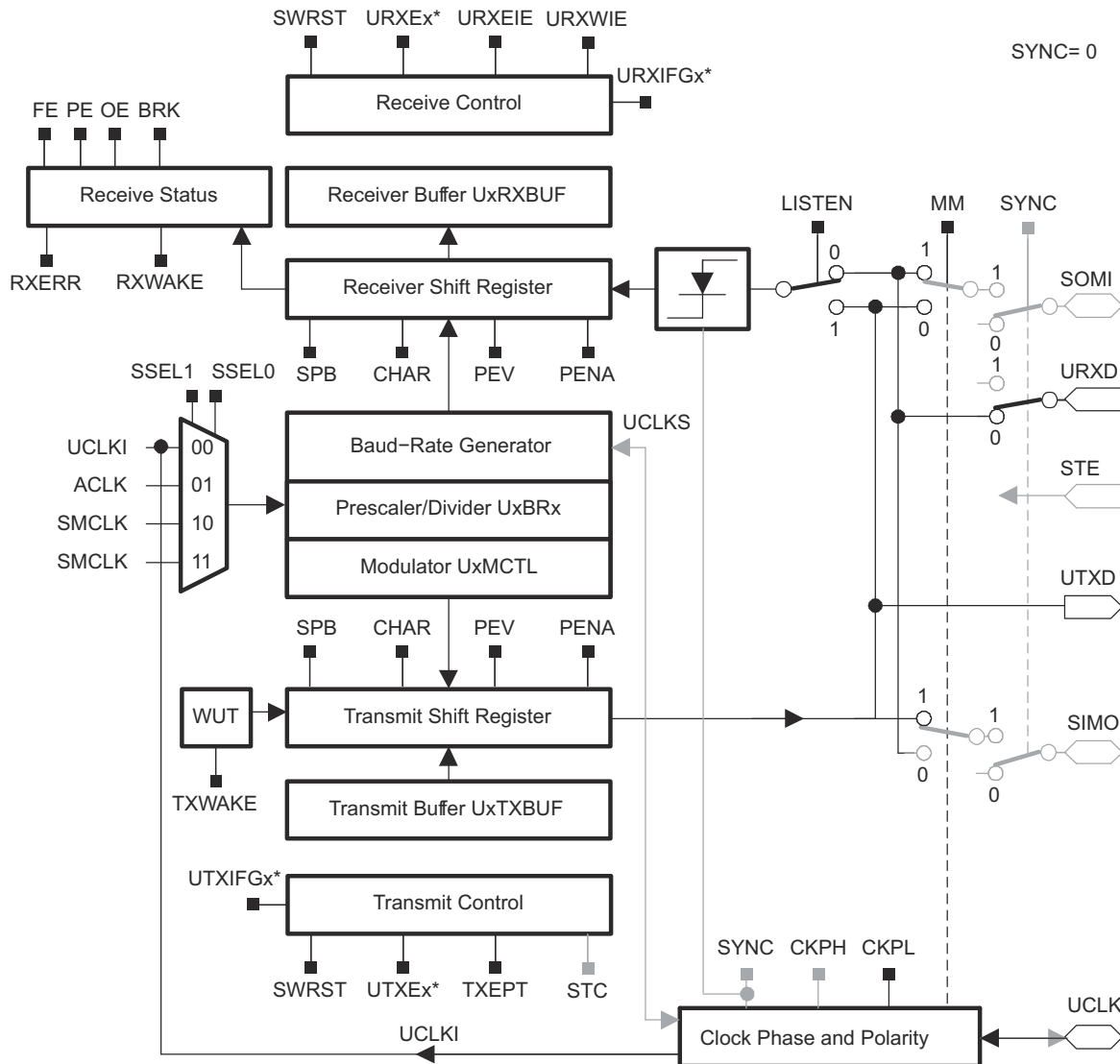
18.1 USART 简介：UART 模式

在异步模式中，USART 通过两个外部引脚，URXD 和 UTXD，把 MSP430 连接到外部系统。当 SYNC 位被清零时 UART 模式被选用。

UART 模式的特性包括：

- 7 或 8 位的奇，偶，或无校验数据
- 独立的发送和接收转换寄存器
- 单独的发送和接收缓存寄存器
- LSB 第一数据发送或接收
- 多处理器系统中内置空闲线和地址位通信
- 接收器开始边沿检测以从 LMPx 模式中自动唤醒
- 通过调制可编程波特率来支持分数位的波特率
- 错误检测和抑制及地址检测的状态标志
- 独立的接收中断和发送中断功能

图 18-1 显示配置 UART 模式时的 USART。



* See the device-specific data sheet for SFR locations.

图 18-1. USART 方框图 : UART 模式

18.2 USART 操作 : UART 模式

在 UART 模式下, USART 的发送和接收字符以一个比特率异步传输到另一个设备。每个字符的时序都是根据选定的 USART 的波特率来定的。发送和接收功能使用相同的波特率频率。

18.2.1 USART 初始化和复位

USART 由 PUC 或通过置位 SWRST 位进行复位。一个 PUC 后, SWRST 位会自动置位, 以此来保持 USART 在复位状态。当置位时, SWRST 位复位 URXIE_x, UTXIE_x, URXIFG_x, RXWAKE, TXWAKE, RXERR, BRK, PE, O, 和 FE 位并且置位 UTXIFG_x 和 TXEPT 位。接收和发送使能标志, URXEx 和 UTXEx, 不会被 SWRST 改变。为了运行, 清除 SWRST 位释放 USART。对于 USART0, 当从 I²C 模式到 UART 模式重新配置时, 也可参阅章节 *USART 模块, I²C 模式*。

备注

初始化或重新配置 USART 模块

初始化/重新配置 USART 需要的过程如下：

1. 置位 SWRST (BIS.B #SWRST, &UxCTL)
2. UCSWRST=1 时初始化所有的 USART 寄存器 (包括 UCAXCTL)
3. 通过 MExSFRs (URXEx 和/或 UTXEx)使能 USART 模块
4. 通过软件(BIC.B #SWRST, &UxCTL)清除 SWRST
5. 通过 IExSFR (URXIEx 和/或 UTXIEx) 启用中断 (可选)

如果不按照这个过程，可能会导致不可预知的 USART 行为。

18.2.2 字符格式

UART 的字符格式展示在图 18-2 中，包括一个开始位，7 或 8 个数据位，一个奇/偶/无校验位，一个地址位 (地址位模式)，和一个或两个停止位。由选定的时钟源和波特率寄存器的设置来定义位周期。

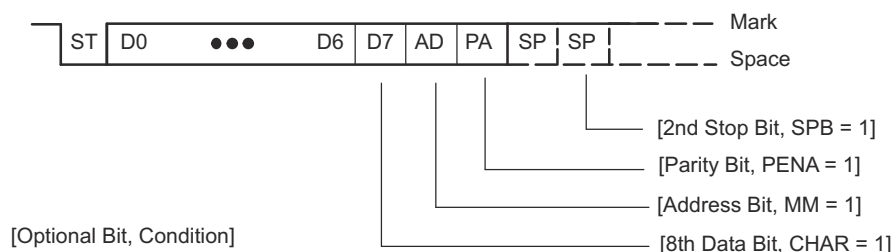


图 18-2. 字符格式

18.2.3 异步通信格式

当两个器件异步通信时，协议中需要用到空闲线格式。当三个或更多的器件通信时，USART 支持空闲线和地址位多处理器通信格式。

18.2.3.1 空闲线多处理器格式

当 MM=0 时，空闲线多处理器格式将会被选用。数据块在发送和接收线上被一段空闲时间隔开，如图 18-3 所示。当在字符的第一个停止位之后接收到 10 个或更多连续一 (标记) 时，检测到空闲接收行。当两个停止位被用于空闲线时，第二个停止位被记为空闲时段的第一个标记位。

一段空闲时段后接收到的第一个字符为一个地址字符。RXWAKE 位被用来作为针对每个字符块的地址标志。在空闲线多处理器格式中，当接收到的字符是一个地址并被传输到 UxRXBUF 时，该位被置位。

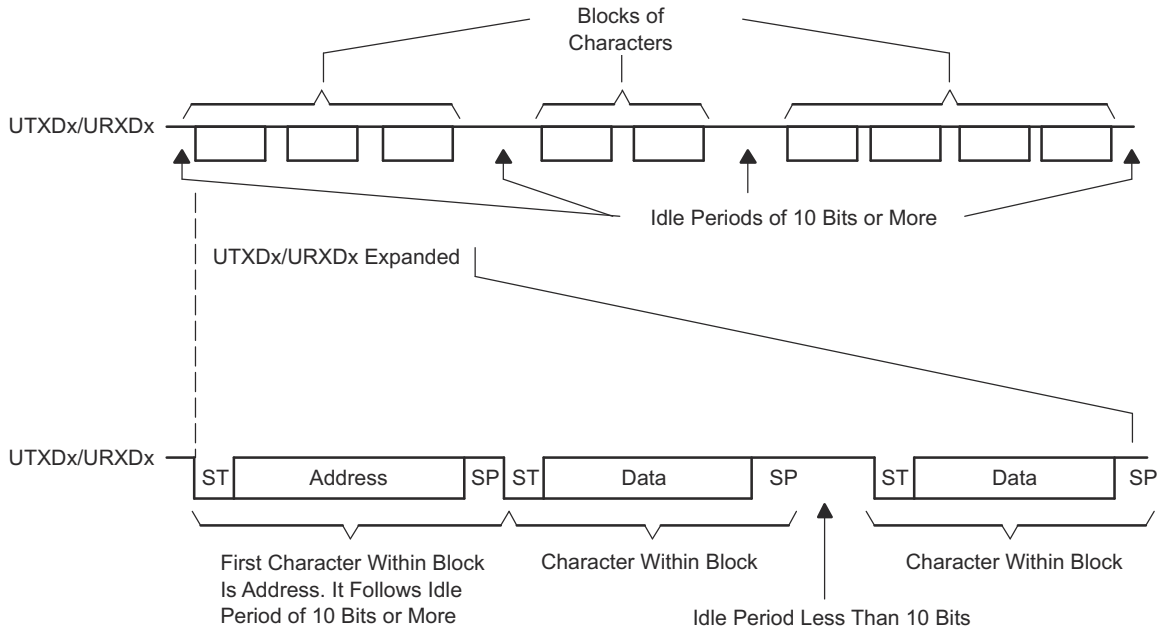


图 18-3. 空闲线路格式

在空闲线路多处理器格式中 URXWIE 位被用来控制数据接收。当 URXWIE=1 时，所有的非地址字符被组装但不会传输到 UxRXBUF 中并且不会产生中断。当一个地址字符被接收时，接收器被暂时激活并将这个字符传输到 UxRXBUF 中，同时 URXIFGx 中断标志被置位。任何适用的错误标志也被置位。然后，用户可以验证所接收到的地址。

如果接收到一个地址，用户软件可以验证该地址，并且必须复位 URXWIE 以继续接收数据。如果 URXWIE 仍然置位，那么只有地址字符才能被接收。URXWIE 位不会被 USART 硬件自动修改。

在空闲线多处理器格式中进行地址传输时，为了在 UTXDx 上产生地址字符标识符，可以由 USART 产生一个精确的空闲周期。唤醒暂时 (WUT) 标志是一个带有用户可访问 TXWAKE 位的双缓冲内部标志。当发送器从 UxTXBUF 中装载时，WUT 还从 TXWAKE 复位 TXWAKE 位中装载。

下列程序发送一个空闲帧以标明一个地址字符：

1. 置位 TXWAKE，然后向 UxTXBUF 中写入任何字符。UxTXBUF 必须准备发送新数据 (UxTXIFG=1)。

当移位寄存器准备发送新数据时，TXWAKE 的值被转移到 WUT 并且 UxTXBUF 的内容被转移到发送移位寄存器中。它置位 WUT，抑制正常传输的起始位，数据位和奇偶校验位，然后发送正好为 11 位的空闲周期。当空闲线中用有两个停止位时，第二个停止位作为空闲时段的第一个标记位计数。TXWAKE 自动复位。

2. 向 UxTXBUF 写入所需的地址字符。UxTXBUF 必须准备发送新数据 (UxTXIFG= 1)。

在 UTXDx 上随着地址识别空闲时段后，新字符所代表的特定地址被移出。向 UxTXBUF 写入的第一个“无影响”字符对于移出 TXWAKE 位到 WUT 和产生一个空闲线状态是必要的。该数据将被丢弃，并不会出现在 UTXDx 上。

18.2.3.2 地址位多处理器格式

当 MM=1 时，地址位多处理器格式将会被选用。如图 18-4 所示，每个处理过的字符都包含一个用作地址指示的额外位。字符块的第一个字符带有一个设置指示字符地址的地址位。当接收到的字符是一个有效的地址字符并被传输到 UxRXBUF 时，USART RXWAKE 位被置位。

在地址位多处理器格式中 URXWIE 位被用来控制数据接收。如果 URXWIE 被置位，数据字符 (地址位=0) 将由接收器组装，但不会传输到 UxRXBUF 而且不会产生中断。当包含一组地址位的一个字符被接收时，接收器被暂时激活，并将字符传输至 UxRXBUF 而且将 URXIFGx 置位。所有的适用错误标志也被置位。

如果接收到一个地址，用户软件必须复位 URXWIE 以继续接收数据。如果 URXWIE 仍然置位，那么只有地址字符（地址位=1）才能被接收。URXWIE 位不会被 USART 硬件自动修改。

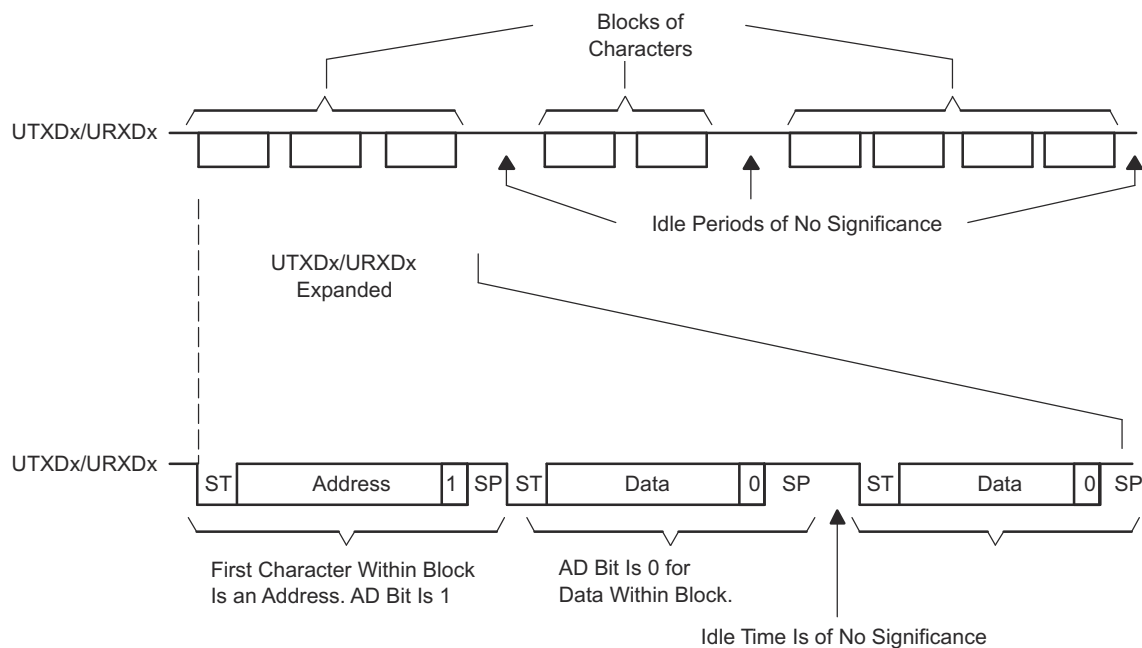


图 18-4. 地址位多处理器格式

对于在地址位多处理器模式中的地址传输，一个字符的地址位可以通过写入 TXWAKE 位来控制。TXWAKE 位的值被装入字符的地址位从 UxTXBUF 转移到发送移位寄存器中，自动清除 TXWAKE 位。TXWAKE 一定不能由软件清除。在它被传输到 WUT 后由 USART 硬件或通过置位 SWRST 被清除。

18.2.3.3 自动错误检测

干扰抑制防止 USART 被意外启动。URXDx 上任何低于抗尖峰脉冲的时间 t_r (约 300ns) 的低电平都将被忽略。对于参数请参阅《器件专用数据表》。

在 URXDx 上，当一个低电平周期超过 t_r 时，对起始位将采取多数表决的方法检测。如果多数表决未能检测到一个有效的起始位，则 USART 暂停字符接收并等待下一个 URXDx 上的低电平周期。多数表决也可用于字符中的每个位，以防止位错误。

接收字符时，USART 模块将自动检测帧错误，奇偶校验错误，溢出错误，和中断条件。当他们相应的条件被检测到时，FE, PE, OE, 和 BRK 都将被置位。当这些错误标志置位时，RXERR 也将置位。错误条件在表 18-1 中做出描述。

表 18-1. 接收错误条件

错误条件	说明
组帧错误	当一个组帧错误发生时, 一个低电平停止位被检测到。当使用两个停止位时, 只有第一个停止位被进行组帧错误检查。当检测一个组帧错误时, FE 位被置位。
奇偶校验错误	奇偶校验错误也就是字符中 1s 的数量和奇偶校验位的值不匹配。当一个地址位包含于字符时, 它同时也被包含进奇偶校验计算中。当一次奇偶校验错误被监测到时, PE 位置位。
接收溢出错误	在读取前一个字符之前另一个字符被装载到 UxRXBUF 中会引发一次溢出错误。当溢出错误发生时, OE 位置位。
中断状态	中断状态是 URXDx 上 10 个或更多的低位在丢失的停止位后收到的周期。当检测到一个中断条件时, BRK 位被置位。当 URXEIE=0 时, 一个中断状态也可以置位中断标志 URXIFGx。

当 URXEIE=0 并且检测到一个帧错误, 奇偶校验错误, 或中断状态时, UxRXBUF 将不再接收字符。当 URXEIE=1 时, UxRXBUF 开始接收字符并且所有的合适错误位都将被置位。

当 FE, PE, OE, BRK 或 RXEER 置位时, 其状态保持到用户软件复位它或 UxRXBUF 中的数据被读出。

18.2.4 USART 接收使能

接收使能位, URXEx, 使能或禁用 URXDx 上的数据接收如图 18-5 中所示。在当前任何字符接受完成后或在无接收操作是有效的后, 立即禁用 USART 接收来停止接收运行。接收数据缓冲器, UxRXBUF, 包括在字符被接收后从 RX 移送寄存器中的移动。

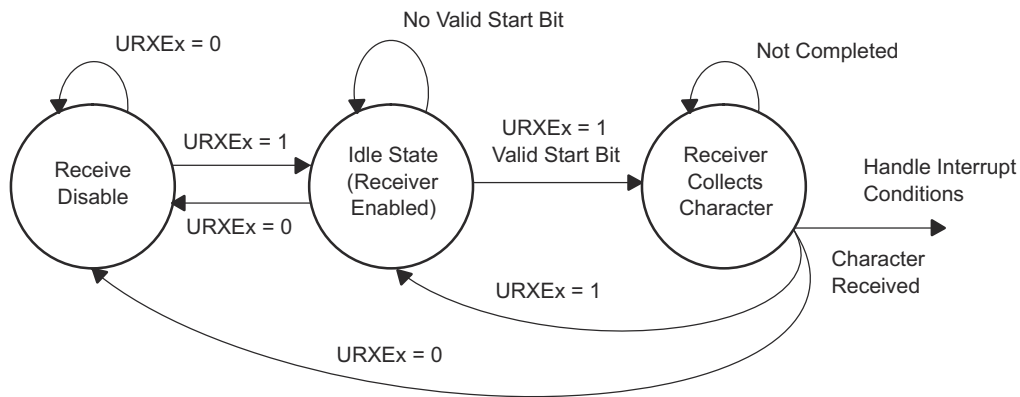


图 18-5. 接收器使能状态图

备注

重新启用接收器 (设置 URXEx) : UART 模式

当接收器被禁用 (URXEx=0) 时, 重新使能接收器 (URXEx=1) 使其与当时出现在 URXDx 上的任何数据流异步。接收到一个有效字符 (请见 URXWIE) 之前, 可以进行同步测试空闲状态。

18.2.5 USART 发送使能

当 UTXEx 被置位时, UART 发送器被使能。通过将数据写入到 UxTXBUF 启动传输。然后, TX 移位寄存器空后, 这些数据被转移到下一个 BITCLK 上的发送移位寄存器中, 并开始传输。图 18-6 展示了这一过程。

当 UTXEx 位被复位时, 发送器被停止。在清除 UTXEx 前, 目前在发送移位寄存器中的任何数据被移动到 UxTXBUF 且任何活跃的数据传输都将继续, 直到完成所有的数据传输。

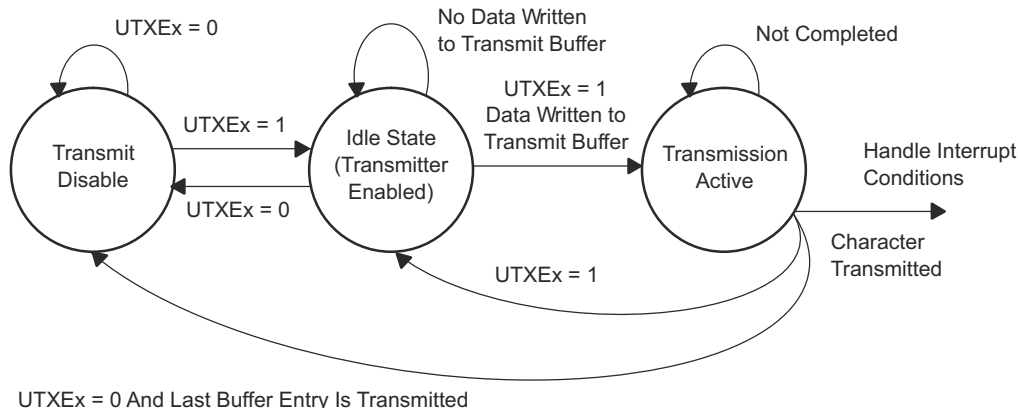


图 18-6. 发送器使能状态图

启用发送器 ($UTXEx = 1$) 后, 数据不应写入 $UxTXBUF$, 除非它已准备好接收由 $UTXIFGx = 1$ 指示的新数据。如果在 $UxTXBUF$ 中数据被移动到 TX 移位寄存器时被修改, 那么冲突可能会导致一个错误的传输。

建议在完成所有已激活的传输后, 再禁用 ($UTXEx=0$) 该发送器。这是由一组发送器空位 ($TXEPT=1$) 表示的。在发送器被禁用期间写入 $UxTXBUF$ 的任何数据都被保留在缓冲区中, 但不会被移动到发送移位寄存器或被发送。一旦 $UTXEx$ 置位, 则在发送缓冲区中的数据将被立即装载到发送移位寄存器中并且字符发送重新开始。

18.2.6 USART 波特率生成

USART 波特率发生器, 能够从非标准源频率中产生标准的波特率。波特率发生器使用一个预分频器/除法器和一个调制器, 如图 18-7 所示。这样的组合支持了波特率产生小数约数。最大 USART 的波特率是 UART 源时钟频率 BRCLK 的三分之一。

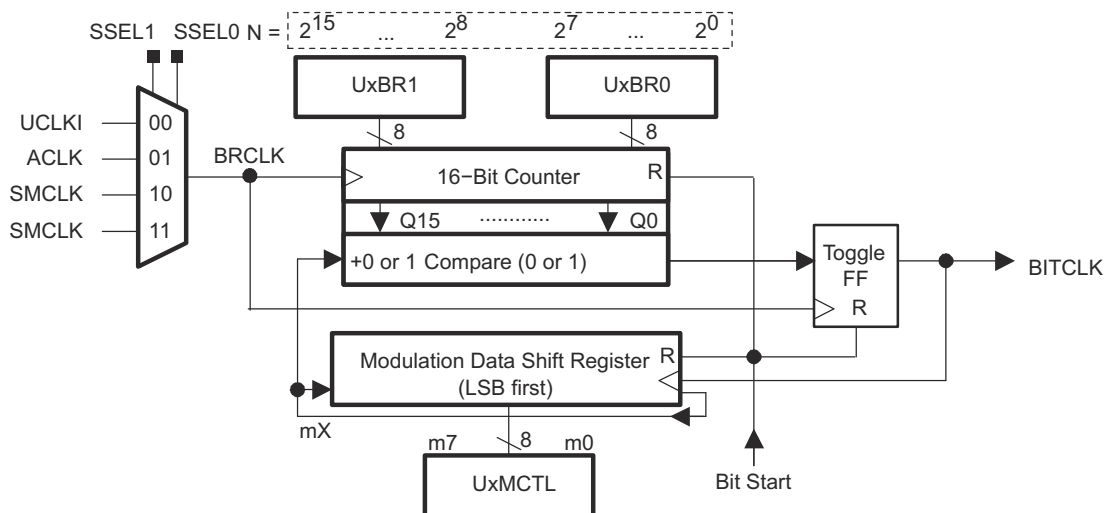


图 18-7. MSP430 波特率发生器

每个位的时序如图 18-8 所示。对于每一接收的位, 采取多数表决的方法来确定该位的值。在 $N/2-1$, $N/2$, 和 $N/2+1$ BRCLK 周期中采样, 其中 N 是每个 BITCLK 中 BRCLKs 的数量。

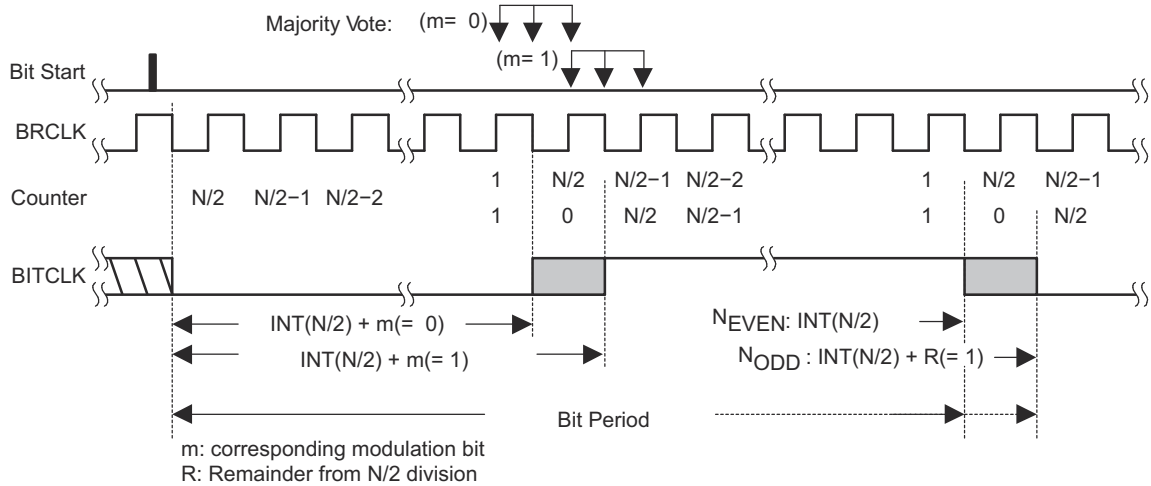


图 18-8. BITCLK 波特率时序

18.2.6.1 波特率位时序

波特率发生器的第一阶段是 16 位的计数器和比较器。在发送或接收的每一位的开始，计数器都用 $INT(N/2)$ 装载，其中 N 是存储在 $UxBR0$ 和 $UxBR1$ 中的结合值。为每个位周期的半周期计数器重新加载 $INT(N/2)$ ，给出 N BRCLKs 的一个总位周期。对于一个给定的 BRCLK 时钟源，使用的波特率决定了需要的分频系数 N ：

$$N = \frac{BRCLK}{\text{Baud Rate}}$$

分频系数 N 通常是一个非整数的值，它的整数部分可以由预分频器/除法器实现。波特率发生器的第二阶段，调制器，被用于尽可能地满足小数部分。因此系数 N 被定义为：

$$N = UxBR + \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} m_i$$

其中，

N = 目标分频系数

$UxBR$ = 寄存器 $UxBR0$ 和 $UxBR1$ 的 16 位表示

i = 字符中的比特位置

n = 字符中的总位数

m_i = 每个对应的调制位的数据 (1 或 0)

$$\text{Baud rate} = \frac{BRCLK}{N} + \frac{BRCLK}{UxBR + \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} m_i}$$

当需要一个非整数分频时，BITCLK 可以通过调制器进行位到位的调整，以此来满足时序要求。如果调制器位 m_i 被置位，那么每个位的时序都将由一个 BRCLK 时钟周期进行扩展。每当一个位被接收或发送时，在调制控制寄存器中的下一个位将决定该位的时序。一个置位的调制位通过 1 来增加分频系数，而一个清除的调制位通过给定的 $UxBR$ 来保持分频系数。

起始位的时序由 $UxBR$ 加上 m_0 来确定，下一位由 $UxBR$ 加上 m_1 来确定，等等。调制序列开始于最低有效位 (LSB)。当字符大于 8 位时，调制序列用 m_0 重新开始并继续进行直到所有的位都被处理。

18.2.6.2 决定调制值

决定调制值是一个互动的过程。使用提供的时序误差公式，在起始位开始，单独的比特误差通过对应的调制位的设置和清除来计算。使用较低误差置位的调制位被选用并且下一个比特错误被计算。持续这个过程，直到所有的位误差被最小化。当一个字符包含多于 8 位时，调制比特重复进行。例如，字符的第九位使用调制比特 0。

18.2.6.3 发送位时序

每个字符的时序是单独的位时序的总和。通过调制每个位来减少累积的位误差。单个位误差可以通过以下来计算：

$$\text{Error [\%]} = \left\{ \frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \times \left[(j + 1) \times \text{UxBR} + \sum_{i=0}^j m_i \right] - (j + 1) \right\} \times 100\%$$

其中，

波特率 = 所需的波特率

BRCLK = 输入频率 - UCLKI、ACLK 或 SMCLK

j = 位位置 - 对于开始位为 0，对于数据位 D0 为 1，依此类推

UxBR = 寄存器 UxBR1 和 UxBR0 中的分频因子

例如，满足下列条件的发送误差的计算方法：

波特率 = 2400

BRCLK = 32 768Hz (ACLK)

UxBR=13，因为理想的分频系数是 13.65

UxMCTL = 6Bh：m7 = 0，m6 = 1，m5 = 1，m4 = 0，m3 = 1，m2 = 0，m1 = 1，m0 = 1。UxMCTL 的 LSB 被首先使用。

$$\text{Start bit Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((0+1) \cdot UxBR+1) - 1 \right) \cdot 100\% = 2.54\%$$

$$\text{Data bit D0 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((1+1) \cdot UxBR+2) - 2 \right) \cdot 100\% = 5.08\%$$

$$\text{Data bit D1 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((2+1) \cdot UxBR+2) - 3 \right) \cdot 100\% = 0.29\%$$

$$\text{Data bit D2 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((3+1) \cdot UxBR+3) - 4 \right) \cdot 100\% = 2.83\%$$

$$\text{Data bit D3 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((4+1) \cdot UxBR+3) - 5 \right) \cdot 100\% = -1.95\%$$

$$\text{Data bit D4 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((5+1) \cdot UxBR+4) - 6 \right) \cdot 100\% = 0.59\%$$

$$\text{Data bit D5 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((6+1) \cdot UxBR+5) - 7 \right) \cdot 100\% = 3.13\%$$

$$\text{Data bit D6 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((7+1) \cdot UxBR+5) - 8 \right) \cdot 100\% = -1.66\%$$

$$\text{Data bit D7 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((8+1) \cdot UxBR+6) - 9 \right) \cdot 100\% = 0.88\%$$

$$\text{Parity bit Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((9+1) \cdot UxBR+7) - 10 \right) \cdot 100\% = 3.42\%$$

$$\text{Stop bit 1 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot ((10+1) \cdot UxBR+7) - 11 \right) \cdot 100\% = -1.37\%$$

结果显示每比特的误差最大为 BITCLK 周期的 5.08%。

18.2.6.4 接收位时序

接收时序有两个错误来源。第一个是比特到比特的时序误差。第二个是开始边沿出现与 USART 接受开始边沿之间的误差。图 18-9 显示了 URXDx 引脚上数据和内部波特率时钟之间的异步时序误差。

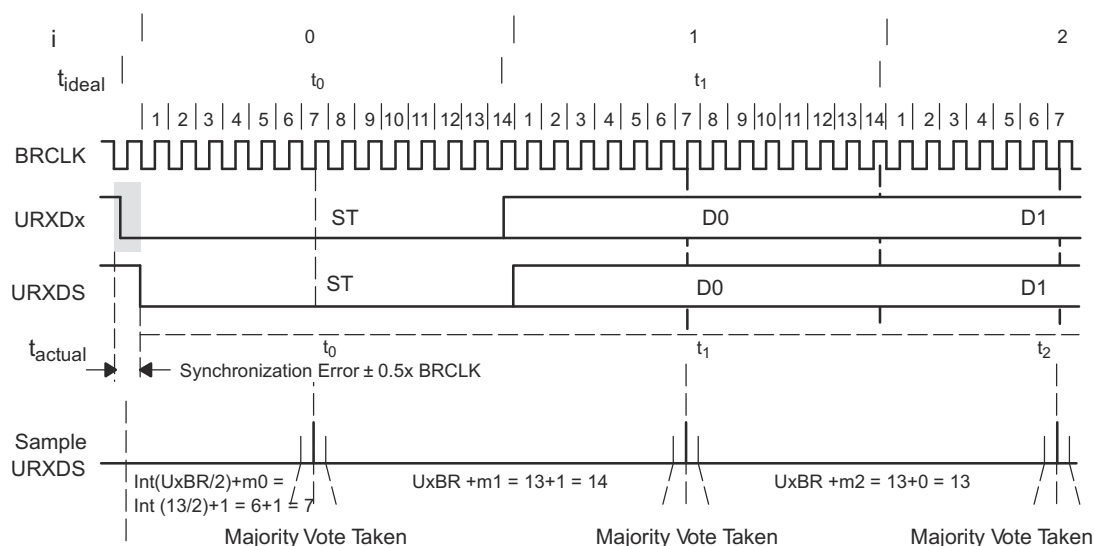


图 18-9. 接收错误

理想的起始位时序 $t_{理想(0)}$ 是波特率时序 $t_{波特率}$ 的一半，因为该位是在它周期的中间开始被检测的。对于剩余的字符位，理想的波特率时序 $t_{理想(i)}$ 等于波特率时序 $t_{波特率}$ 单个位误差可以通过以下来计算：

$$Error [\%] = \left\{ \frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \times \left(2 \times \left[m_0 + \text{int} \left(\frac{UxBR}{2} \right) \right] + \left[i \times UxBR + \sum_{i=1}^j m_i \right] \right) - 1 - j \right\} \times 100\%$$

其中，

波特率 = 所需的波特率

BRCLK = 输入频率；为 UCLK、ACLK 或 SMCLK 选择

j = 对于开始位为 0，对于数据位 D0 为 1，依此类推

UxBR = 寄存器 UxBR1 和 UxBR0 中的分频因子

例如，满足下列条件的接收误差的计算方法：

波特率 = 2400

BRCLK = 32 768Hz (ACLK)

UxBR=13，因为理想的分频系数是 13.65

UxMCTL = 6B : m7 = 0，m6 = 1，m5 = 1，m4 = 0，m3 = 1，m2 = 0，m1 = 1，m0 = 1。UxMCTL 的 LSB 被首先使用。

$$\text{Data bit D1 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 2 \cdot UxBR + 1] - 1 - 2 \right) \cdot 100\% = 0.29\%$$

$$\text{Data bit D2 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 3 \cdot UxBR + 2] - 1 - 3 \right) \cdot 100\% = 2.83\%$$

$$\text{Data bit D3 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 4 \cdot UxBR + 2] - 1 - 4 \right) \cdot 100\% = -1.95\%$$

$$\text{Data bit D4 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 5 \cdot UxBR + 3] - 1 - 5 \right) \cdot 100\% = 0.59\%$$

$$\text{Data bit D5 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 6 \cdot UxBR + 4] - 1 - 6 \right) \cdot 100\% = 3.13\%$$

$$\text{Data bit D6 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 7 \cdot UxBR + 4] - 1 - 7 \right) \cdot 100\% = -1.66\%$$

$$\text{Data bit D7 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 8 \cdot UxBR + 5] - 1 - 8 \right) \cdot 100\% = 0.88\%$$

$$\text{Parity bit Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 9 \cdot UxBR + 6] - 1 - 9 \right) \cdot 100\% = 3.42\%$$

$$\text{Stop bit 1 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 10 \cdot UxBR + 6] - 1 - 10 \right) \cdot 100\% = -1.37\%$$

$$\text{Start bit Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 0 \cdot UxBR + 0] - 1 - 0 \right) \cdot 100\% = 2.54\%$$

$$\text{Data bit D0 Error [\%]} = \left(\frac{\text{baud rate}}{\text{BRCLK}} \cdot [2x(1+6) + 1 \cdot UxBR + 1] - 1 - 1 \right) \cdot 100\% = 5.08\%$$

结果显示每比特的误差最大为 BITCLK 周期的 5.08%。

18.2.6.5 典型的波特率和误差

对于 32 768Hz 手表晶体 (ACLK) 和典型 1 048 576Hz SMCLK, 表 18-2 列出了 UxBRx 和 UxMCTL 的标准波特率频率数据。

接收误差是在每一个比特中间相对于理想扫描时间的累积时间。发送误差是相对于位周期理想时间的累积时序误差。

表 18-2. 常用的波特率, 波特率数据和误差

波特率	除以		答: BRCLK = 32 768Hz						B: BRCLK = 1 048 576Hz				
	A:	B:	UxBR1	UxBR0	UxMCTL	最大 TX 误差 %	最大 RX 误差 %	同步 RX 误差 %	UxBR1	UxBR0	UxMCTL	最大 TX 误差 %	最大 RX 误差 %
1200	27.31	873.81	0	1B	03	-4/3	-4/3	±2	03	69	FF	0/0.3	±2
2400	13.65	436.91	0	0D	6B	-6/3	-6/3	±4	01	B4	FF	0/0.3	±2
4800	6.83	218.45	0	06	6F	-9/11	-9/11	±7	0	DA	55	0/0.4	±2
9600	3.41	109.23	0	03	4A	-21/12	-21/12	±15	0	6D	03	-0.4/1	±2
19 200		54.61							0	36	6B	-0.2/2	±2
38 400		27.31							0	1B	03	-4/3	±2
76 800		13.65							0	0D	6B	-6/3	±4
115 200		9.1							0	09	08	-5/7	±7

18.2.7 USART 中断

USART 有一个发送中断向量和接收中断向量。

18.2.7.1 USART 发送中断操作

UTXIFGx 中断标志被发送器置位表示 UxTXBUF 准备接收另一个字符。如果 UTXIE 和 GIE 也置位, 将产生一个中断请求。如果一个中断请求被服务或一个字符被写到 UxTXBUF 中 UTXIFG 将自动复位。

在 PUC 之后或 SWRST = 1 时会设置 UTXIFGx。在 PUC 之后或 SWRST = 1 时会复位 UTXIEx。运行如图 18-10 所示。

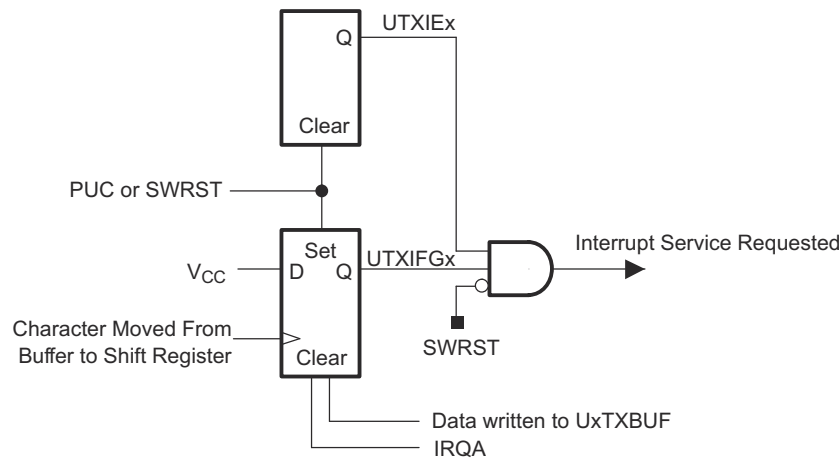


图 18-10. 发送中断操作

18.2.7.2 USART 接收中断操作

每次一个字符被接收并装载到 UxRXBUF 中去时 URXIFG 中断标志置位一次。如果 URXIE 和 GIE 置位, 将产生一个中断请求。URXIFGx 和 URXIEx 由系统复位 PUC 信号进行复位, 或在 SWRST = 1 时复位。如果挂起中断被服务时 (当 URXSE=0 时) 或当 UxRXBUF 被读取时 URXIFGx 将自动复位。运行如图 18-11 所示。

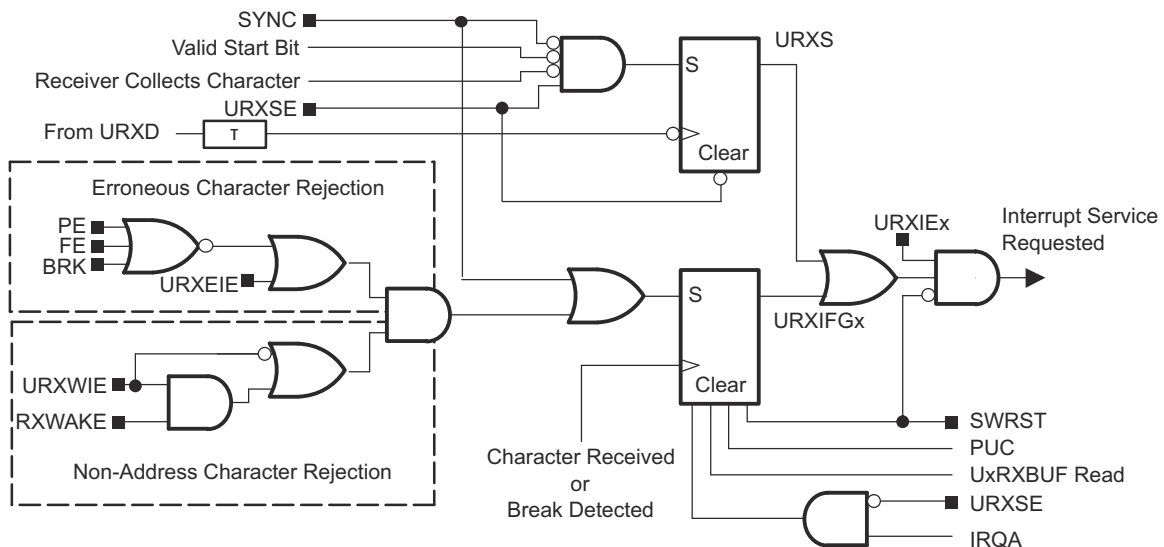


图 18-11. 接收中断操作

URXEIE 被用来使能或禁止错误字符置位 URXIFGx。当使用多处理器寻址模式时, URXWIE 被用于自动检测有效的地址字符和拒绝不需要的数据字符。

有两种类型的字符不能置位 URXIFGx :

- 当 URXEIE=0 时, 错误的字符
- 当 URXWIE=1 时, 非地址字符

当 URXEIE=1 时, 一个中断条件置位 BRK 位和 URXIFGx 标志。

18.2.7.3 接收开始边沿检测操作

URXSE 位使能接收开始边缘检测功能。推荐的接收开始边沿功能的用法是, BRCLK 由 DCO 做源并且关闭 DCO, 因为这是低功耗模式操作。DCO 的超高速打开使字符能在开始边沿检测后被接受。

当 URXSE, URXIE_x 和 GIE 置位并且在 URXD_x 上出现开始沿时, 内部信号 URXS 被置位。当 URXS 置位时, 产生接收中断请求但 URXIFGx 没有置位。在接收中断服务程序中的用户软件可以测试 URXIFGx 来确定中断源。当 URXIFGx=0 时, 检测到起始沿, 当 URXIFGx=1 时, 收到一个有效的字符 (或中断)。

当 ISR 确定中断请求是从一个起始边缘发出时, 用户软件切换 URXSE 从 ISR 返回到主动模式或者一个源是活动的低功率模式, 并且必须使能 BRCLK 源。如果 ISR 返回到 BRCLK 源无效的低功耗模式, 将无法接收字符。切换 URXSE 清除 URXS 信号, 并为以后的字符重新使能开始边缘检测功能。更多关于进入和退出低功耗模式的信息请参阅《系统复位, 中断和操作模式》章节。

现在活跃的的 BRCLK 允许 USART 接收平衡的字符。完整的字符被接收并移动到 UxRXBUF 后, URXIFGx 置位并再次发出中断服务请求。ISR 进入后, URXIFGx=1 表示一个字符被接收。U 当用户软件读取 UxRXBUF 时, RXIFGx 标志被清除。

```

; Interrupt handler for start condition and
; Character receive.BRCLK = DCO.
UORX_Int  BIT.B  #URXIFG0,&IFG1      ; Test URXIFGx to determine
          JZ     ST_COND             ; If start or character
          MOV.B  &UxRXBUF,dst       ; Read buffer
          ...
          RETI                       ;
ST_COND   BIC.B  #URXSE,&U0TCTL      ; Clear URXS signal
          BIS.B  #URXSE,&U0TCTL      ; Re-enable edge detect
          BIC    #SCG0+SCG1,0(SP)    ; Enable BRCLK = DCO
          RETI                       ;

```

备注

UART 时钟停止时的中断检测

使用接收开始边缘检测功能时, 如果 BRCLK 源是关闭的, 则不能检测到中断状态。

18.2.7.4 接收开始边沿检测条件

当 URXSE = 1 时, 干扰抑制防止 USART 被意外启动。URXD_x 上任何低电平小于抗尖峰脉冲时间 t_r (约 300ns) 都将被 USART 忽略并且不会产生中断请求 (请见图 18-12)。对于参数请参阅《器件专用数据表》

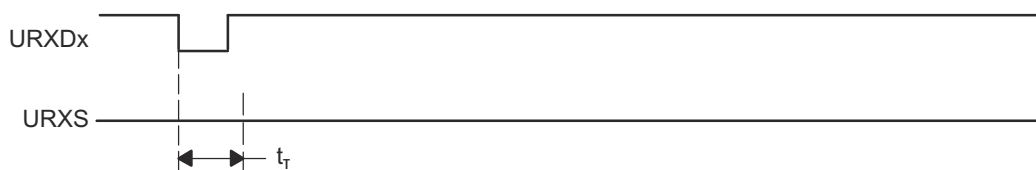


图 18-12. 干扰抑制, USART 接收未开始

当一个干扰大于 t_r 或在 URXD_x 上出现一个有效起始位时, USART 接收操作被启动并且采取一次多数表决, 如图 18-13 所示。如果多数表决未能检测到一个起始位, USART 暂停字符接收。

如果字符接收停止, 则 BRCLK 无需处于激活状态。一个超时周期大于字符的接收持续时间时, 可以由软件使用它来表示在预期的时间内没有收到字符, 并且该软件可以禁用 BRCLK。

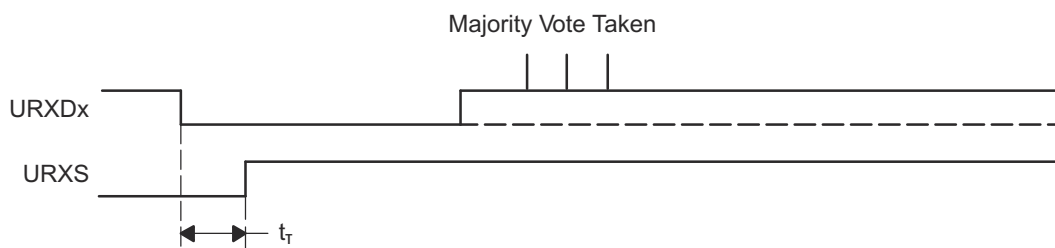


图 18-13. 干扰抑制, USART 激活

18.3 USART 寄存器 - UART 模式

表 18-3 列出了 UART 模式下 USART0 和 USART1 的存储器映射寄存器。

表 18-3. USARTx 寄存器 - UART 模式

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
70h	U0CTL	USART0 控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 18.3.2
71h	U0TCTL	USART0 发送控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 18.3.3
72h	U0RCTL	USART0 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 18.3.4
73h	U0MCTL	USART0 模块控制	读取/写入	未改变	节 18.3.5
74h	U0BR0	USART0 波特率控制 0	读取/写入	未改变	节 18.3.6
75h	U0BR1	USART0 波特率控制 1	读取/写入	未改变	节 18.3.6
76h	U0RXBUF	USART0 接收缓冲区	读取	未更改	节 18.3.8
77h	U0TXBUF	USART0 发送缓冲区	读取/写入	未改变	节 18.3.9
0h	IE1	SFR 中断使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 18.3.10
2h	IFG1	SFR 中断标志 1	读取/写入	PUC 后为 82h	节 18.3.12
78h	U1CTL	USART1 控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 18.3.2
79h	U1TCTL	USART1 发送控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 18.3.3
7Ah	U1RCTL	USART1 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 18.3.4
7Bh	U1MCTL	USART1 调制控制	读取/写入	未改变	节 18.3.5
7Ch	U1BR0	USART1 波特率控制 0	读取/写入	未改变	节 18.3.6
7Dh	U1BR1	USART1 波特率控制 1	读取/写入	未改变	节 18.3.6
7Eh	U1RXBUF	USART1 接收缓冲区	读取	未更改	节 18.3.8
7Fh	U1TXBUF	USART1 发送缓冲区	读取/写入	未改变	节 18.3.9
1h	IE2	SFR 中断使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 18.3.11
3h	IFG2	SFR 中断标志 2	读取/写入	PUC 后为 20h	节 18.3.13

备注

修改 SFR 位

为了避免修改其他模块的控制位, TI 建议使用 **BIS.B** 或 **BIC.B** 指令 (而非 **MOV.B** 或 **CLR.B** 指令) 来设置或清除 **IE_x** 和 **IFG_x** 位。

18.3.1 UxCTL 寄存器

USARTx 控制寄存器

图 18-14 展示了 UxCTL，表 18-4 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-14. UxCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
PENA	PEV	SPB	CHAR	LISTEN	SYNC	MM	SWRST
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 18-4. UxCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	PENA	R/W	0h	奇偶校验使能 0b = 禁用奇偶校验 1b = 奇偶校验被使能。生成 (UTXDx) 和预期 (URXDx) 的奇偶校验位。在地址位多处理器模式中，地址位被包括在奇偶校验计算中。
6	PEV	R/W	0h	奇偶校验选择。奇偶校验被禁用时，PEV 不能使用。 0b = 奇数校验 1b = 偶数校验
5	SPB	R/W	0h	停止位选择发送的停止位个数。接收器总是会检查一个停止位。 0b = 一个停止位 1b = 两个停止位
4	CHAR	R/W	0h	字符长度。选择 7 位或 8 位字符长度。 0b = 7 位数据 1b = 8 位数据
3	LISTEN	R/W	0h	监听使能。监听位选择回路模式 0b = 被禁用 1b = 被使能。UTXDx 被内部反馈到接收器。
2	SYNC	R/W	0h	同步模式使能 0b = UART 模式 1b = SPI 模式
1	MM	R/W	0h	多处理器模式选择 0b = 空闲线多处理器协议 1b = 地址位多处理器协议
0	SWRST	R/W	1h	软件复位使能 0b = 禁用。USART 复位释放操作。 1b = 启用。USART 逻辑保持在复位状态。

18.3.2 UxTCTL 寄存器

USARTx 发送控制寄存器

图 18-15 展示了 UxTCTL，表 18-5 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-15. UxTCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用	CKPL	SSELx		URXSE	TXWAKE	未使用	TXEPT
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 18-5. UxTCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	未使用	R/W	0h	未使用
6	CKPL	R/W	0h	时钟极性选择 0b = UCLKI = UCLK 1b = UCLKI = 反相 UCLK
5-4	SSELx	R/W	0h	源选择。这些位选择 BRCLK 时钟源。 00b = UCLKI 01b = ACLK 10b = SMCLK 11b = SMCLK
3	URXSE	R/W	0h	UART 接收开始边沿。该位使能 UART 接收开始边沿的功能。 0b = 禁用 1b = 被启用
2	TXWAKE	R/W	0h	发送器唤醒 0b = 传输的下一个帧是数据 1b = 传输的下一个帧是地址
1	未使用	R/W	0h	未使用
0	TXEPT	R/W	1h	发送器空标志。 0b = UART 正在传输数据和/或数据在 UxTXBUF 中等待 1b = 传输移位寄存器和 UxTXBUF 为空或 SWRST = 1

18.3.3 UxRCTL 寄存器

USARTx 接收控制寄存器

图 18-16 展示了 UxRCTL, 表 18-6 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-16. UxRCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
FE	PE	OE	BRK	URXEIE	URXWIE	RXWAKE	RXERR
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 18-6. UxRCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	FE	R/W	0h	帧错误标志。 0b = 无错误 1b = 接收到的低停止位字符
6	PE	R/W	0h	奇偶校验错误标志。当 PENA=0, PE 被读取为 0。 0b = 无错误 1b = 接收到的具有奇偶校验错误的字符
5	OE	R/W	0h	溢出错误标志。当在之前的一个字符被读取前随后一个字符被传输到 UxRXBUF 时, 该位被置位。 0b = 无错误 1b = 发生溢出错误
4	BRK	R/W	0h	中断检测标志 0b = 无中断条件 1b = 间隔条件发生
3	URXEIE	R/W	0h	接收错误的字符中断使能 0b = 拒绝错误字符且不设置 URXIFGx 1b = 接收的错误字符将设置 URXIFGx
2	URXWIE	R/W	0h	接收唤醒中断使能。当接收到一个地址字符时, 此位启用 URXIFGx 进而置位。当 URXEIE=0 时, 如果接收有错误, 则地址字符不再置位 URXIFGx。 0b = 所有接收到的字符将设置 URXIFGx 1b = 仅接收到的地址字符设置 URXIFGx
1	RXWAKE	R/W	0h	接收唤醒标志 0b = 接收的字符是数据 1b = 接收的字符是地址
0	RXERR	R/W	0h	接收错误标志。该位指示接收到的字符有误。当 RXERR=1 时, 还会设置一个或多个错误标志 (FE、PE、OE、BRK)。当 UxRXBUF 被读取时, RXERR 被清除。 0b = 未检测到接收错误 1b = 检测到接收错误

18.3.4 UxMCTL 寄存器

USARTx 调制控制寄存器

图 18-17 展示了 UxMCTL，表 18-7 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-17. UxMCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
m7	m6	m5	m4	m3	m2	m1	m0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 18-7. UxMCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxMCTLx	R/W	未更改	调制比特。这些位为 BRCLK 选择调制。

18.3.5 UxBR0 寄存器

USARTx 波特率控制 0 寄存器

图 18-18 展示了 UxBR0，表 18-8 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-18. UxBR0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 18-8. UxBR0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxBRx	R/W	未更改	有效的波特率控制范围为 $3 \leq UxBR \leq 0FFFFh$ 之间，其中 $UxBR = (UxBR1 + UxBR0)$ 。如果 $UxBR < 3$ ，将会发生不可预知的接收和发送时序。

18.3.6 UxBR1 寄存器

USARTx 波特率控制 1 寄存器

图 18-18 展示了 UxBR1，表 18-8 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-19. UxBR1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
2 ¹⁵	2 ¹⁴	2 ¹³	2 ¹²	2 ¹¹	2 ¹⁰	2 ⁹	2 ⁸
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 18-9. UxBR1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxBRx	R/W	未更改	有效的波特率控制范围为 $3 \leq UxBR \leq 0FFFFh$ 之间，其中 $UxBR = (UxBR1 + UxBR0)$ 。如果 $UxBR < 3$ ，将会发生不可预知的接收和发送时序。

18.3.7 UxRXBUF 寄存器

USARTx 接收缓冲寄存器

图 18-20 展示了 UxRXBUF, 表 18-10 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-20. UxRXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UxRXBUFx							
r	r	r	r	r	r	r	r

表 18-10. UxRXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxRXBUFx	R	未更改	接收数据缓冲是用户可以访问并包含从接收移位寄存器处最后接收到的字符。读取 UxRXBUF 将复位 OE 位和 URXIFGx 标志。在 7 位数据模式下, UxRXBUF 是已对齐的 LSB 且 MSB 总是复位。

18.3.8 UxTXBUF 寄存器

USARTx 发送缓冲寄存器

图 18-21 展示了 UxTXBUF, 表 18-11 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-21. UxTXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UxTXBUFx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 18-11. UxTXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxTXBUFx	R/W	未更改	发送数据缓冲区是用户可以访问的并且保存有等待被转移到发送移位寄存器和 UTXDx 上传输的数据。写入到发送数据缓冲器清除 UTXIFGx。UxTXBUF 的 MSB 没有在 7 位数据模式下使用且被复位了。

18.3.9 IE1 寄存器

SFR 中断使能 1 寄存器

图 18-22 展示了 IE1, 表 18-12 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-22. IE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UTXIE0	URXIE0						
rw - 0		rw - 0					

表 18-12. IE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UTXIE0	R/W	0h	USART0 发送中断使能。该位启用 UTXIFG0 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被启用
6	URXIE0	R/W	0h	USART0 接收中断使能。该位启用 URXIFG0 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

18.3.10 IE2 寄存器

SFR 中断使能 2 寄存器

图 18-23 展示了 IE2, 表 18-13 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-23. IE2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
		UTXIE1	URXIE1				
		rw - 0		rw - 0			

表 18-13. IE2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。
5	UTXIE1	R/W	0h	USART1 发送中断使能。该位启用 UTXIFG1 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被启用
4	URXIE1	R/W	0h	USART1 接收中断使能。该位启用 URXIFG1 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
3-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

18.3.11 IFG1 寄存器

SFR 中断标志 1 寄存器

图 18-24 展示了 IFG1, 表 18-14 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-24. IFG1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UTXIFG0	URXIFG0						
rw - 1		rw - 0					

表 18-14. IFG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UTXIFG0	R/W	1h	USART0 发送中断标志。当 U0TXBUF 为空时, UTXIFG0 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
6	URXIFG0	R/W	0h	USART0 接收中断标志。当 U0RXBUF 收到一个完整的字符时, URXIFG0 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

18.3.12 IFG2 寄存器

SFR 中断标志 2 寄存器

图 18-25 展示了 IFG2, 表 18-15 中对此进行了介绍。

返回表 18-3。

图 18-25. IFG2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
		UTXIFG1	URXIFG1				
rw - 1			rw - 0				

表 18-15. IFG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。
5	UTXIFG1	R/W	1h	USART1 发送中断标志。当 U1TXBUF 为空时会设置 UTXIFG1。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
4	URXIFG1	R/W	0h	USART1 接收中断标志。当 U1RXBUF 收到一个完整的字符时, URXIFG1 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
3-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

USART 外设接口，SPI 模式。



通用同步/异步接收/发送器 (USART) 外设接口采用一个硬件模块支持两个串行模式。本章介绍了同步外设接口或 SPI 模式的操作。在 MSP430AFE2xx 器件上执行了 USART0。

19.1 USART 简介：SPI 模式	536
19.2 USART 操作：SPI 模式	538
19.3 USART 寄存器：SPI 模式	545

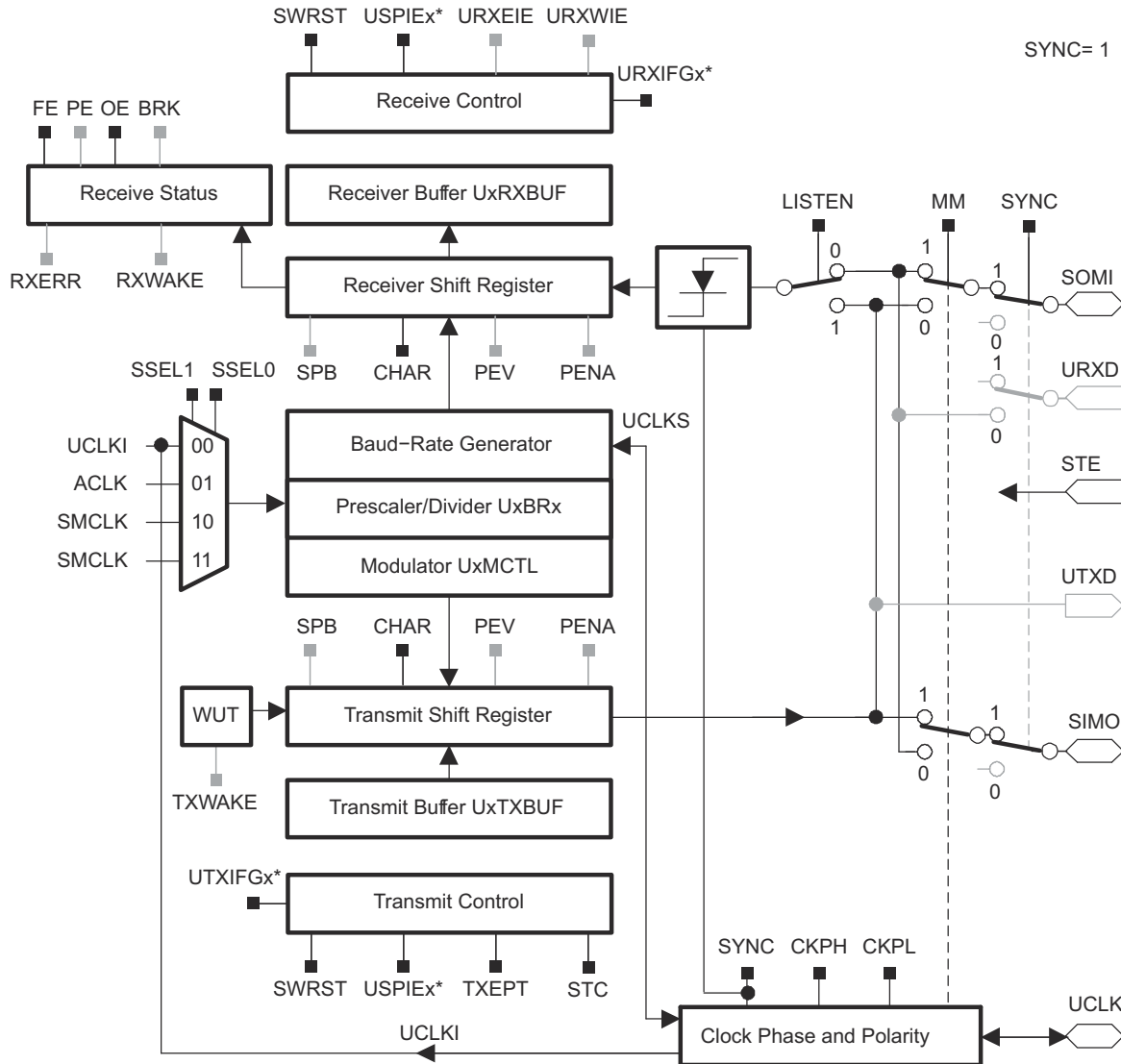
19.1 USART 简介：SPI 模式

在同步模式下，USART 通过三个或四个引脚将 MSP430 连接到外部系统：SIMO、SOMI、UCLK 和 STE。当 SYNC 被置位且 I2C 被清零时，选择 SPI 模式。

SPI 模式的特点包括：

- 7 位或 8 位的数据长度
- 3 引脚或 4 引脚 SPI 操作
- 主机或从机模式
- 独立的发送和接收移位寄存器
- 分开的发送和接收缓冲寄存器
- 可选择的 UCLK 极性和相位控制
- 在主模式下可编程的 UCLK 频率
- 独立的接收和发送中断功能

图 19-1 给出了配置为 SPI 模式时的 USART。



* See the device-specific data sheet for SFR locations.

图 19-1. USART 方框图 : SPI 模式

19.2 USART 操作：SPI 模式

在 SPI 模式下，串行数据可通过多路个器件进行发送和接收，这些器件使用一个由主机提供的共用时钟。一个附加的引脚，STE，用于使能器件接收和发送数据，并由主机控制。

三个或四个信号被用于 SPI 数据交换：

- **SIMO**：从器件输入，主器件输出
 - 主模式：**SIMO** 是数据输出线路。
 - 从模式：**SIMO** 是数据输入线路。
- **SOMI**：从器件输出，主器件输入
 - 主模式：**SOMI** 是数据输入线路。
 - 从模式：**SOMI** 是数据输出线路。
- **UCLK**：USART SPI 时钟
 - 主模式：**UCLK** 是输出。
 - 从模式：**UCLK** 是输入。
- **STE**：从器件发送使能。在 4 引脚模式下使用，允许单个总线上存在多个主器件。不用于 3 引脚模式。
 - 4 引脚主控模式：
 - 当 **STE** 为高电平时，**SIMO** 和 **UCLK** 正常运行。
 - 当 **STE** 为低电平时，**SIMO** 和 **UCLK** 被设置到输入方向。
 - 4 引脚从模式：
 - 当 **STE** 为高电平时，从器件的 **RX/TX** 被禁用且 **SOMI** 被强制为输入方向。
 - 当 **STE** 为低电平时，从器件的 **RX/TX** 被启用和且 **SOMI** 正常工作。

19.2.1 USART 的初始化和复位

通过一个 PUC 或 SWRST 位复位 USART。一个 PUC 后，SWRST 位自动置位，保持 USART 处于一个复位条件下。当置位时，SWRST 位复位 URXIE_x，UTXIE_x，URXIFG_x，OE，和 FE 位并置位 UTXIFG_x 标志。USPIE_x 位没被 SWRST 改变。清零 SWRST 会释放 USART 进行操作。

备注

初始化或重新配置 USART 模块

初始化/重新配置 USART 需要的过程如下：

1. 置位 SWRST (BIS.B #SWRST, &UxCTL)
2. UCSWRST=1, 初始化所有 USART 寄存器 (包括 UxCTL)
3. 通过 MEx SFRs (USPIE_x) 启用 USART 模块
4. 通过软件清零 SWRST (BIC.B #SWRST, &UxCTL)
5. 通过 IExSFR (URXIE_x 和/或 UTXIE_x) 启用中断 (可选)

如果不按照这个过程，可能会导致不可预知的 USART 行为。

19.2.2 主模式

图 19-2 给出了在 3 引脚和 4 引脚配置下的作为一个主器件的 USART。当数据被移动到发送数据缓冲器 UxTXBUF 时，USART 初始化数据传输。当 TX 移位寄存器为空时，UxTXBUF 数据被移动到 TX 移位寄存器，SIMO 上的初始化数据传输从最高有效位开始。SOMI 上的数据被移入在反相的时钟沿上的接收移位寄存器，从最高有效位开始。当字符接收到之后，接收数据被从 RX 移位寄存器送入接收到的数据缓冲器 UxRXBUF，并且接收中断标志，URXIFGx，被置位，完成初始化 RX/TX（接收/发送）操作。

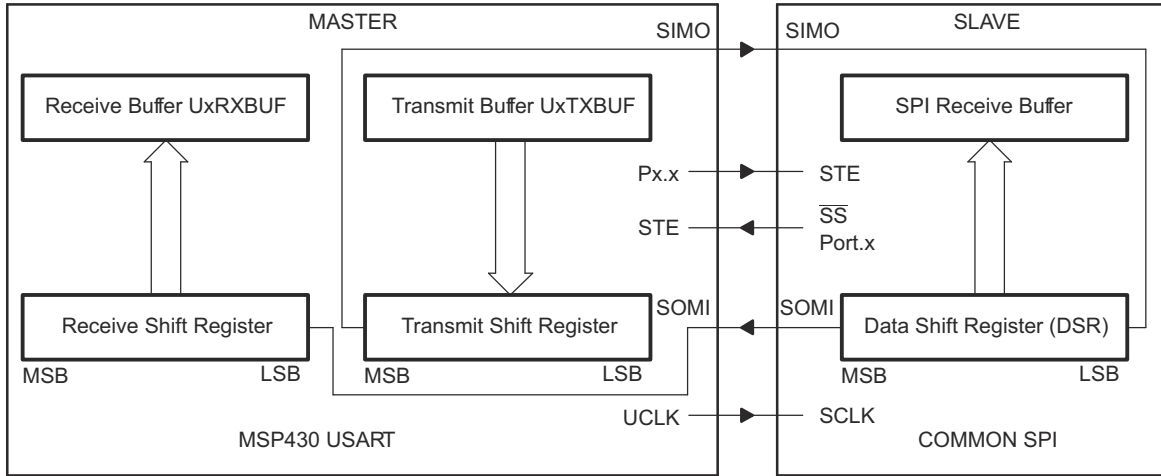


图 19-2. USART 主器件和外部从器件

一组传输中断标志，UTXIFGx，表明数据已经从 UxTXBUF 转移到 TX 移位寄存器且 UxTXBUF 已为新的数据准备就绪。它并不表示 RX/TX 完成。在主控模式下，一个有效传输的完成是用一组发送器的空位 TXEPT=1 表示的。

要在主控模式下把数据接收到 USART 中，鉴于接收和发送操作同时运行的，必须把数据写入 UxTXBUF。

19.2.2.1 4 引脚 SPI 主控模式

在 4 引脚主控模式下，STE 用于防止与另一个主器件发生冲突。当 STE 为高电平时主器件正常操作。当 STE 为低电平时：

- SIMO 和 UCLK 被设为输入，并不再驱动总线
- 错误位 FE 被置位表示了一个通信完整性违规将被用户处理。

一个低 STE 信号不会复位 USART 模块。STE 输入信号不用于 3 引脚主控模式中。

19.2.3 从模式

图 19-3 给出了在 3 引脚和 4 引脚配置下的作为一个从器件的 USART。UCLK 被用作 SPI 时钟的输入且必须由外部主器件提供。数据传输速率是由这个时钟确定而不是由内部波特率发生器确定。在一个 UCLK 开始前，会在 SOMI 上发送写入 UxTXBUF 和被移到 TX 移位寄存器的数据。SIMO 上的数据被移进在 UCLK 反相边沿上的接收移位寄存器，且当设定位数被接收时数据被移到 UxRXBUF。当数据被从 RX 移位寄存器移动到 UxRXBUF 时，URXIFGx 中断标志被置位，表明数据已被接收。溢出错误位，OE，当在新数据没被移到 UxRXBUF 前，接收到的数据无法从 UxRXBUF 中读取时，该位被置位。

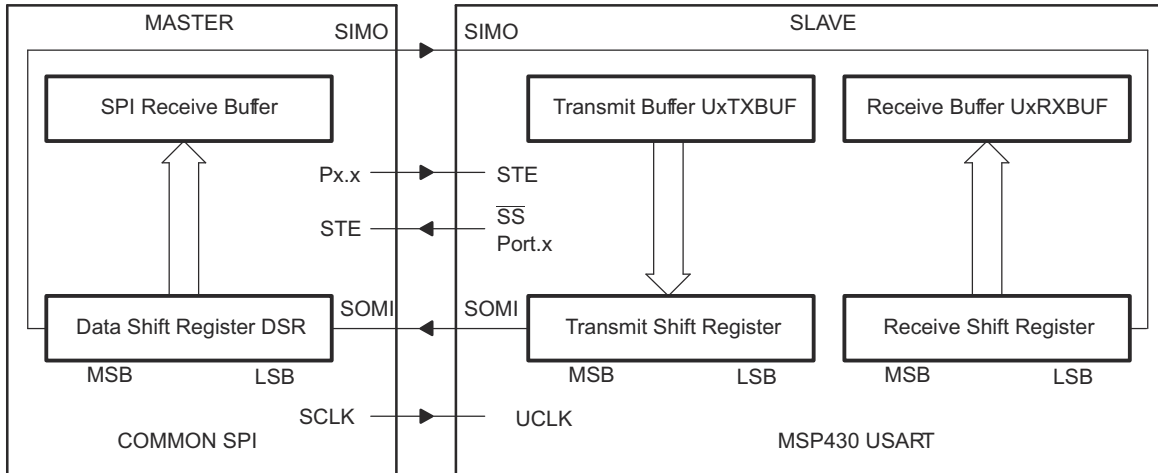


图 19-3. USART 从器件和外部主器件

19.2.3.1 4 引脚 SPI 受控模式

在 4 引脚受控模式中, STE 被从器件用于启用发送和接收操作, 并由 SPI 主器件提供。当 STE 为低电平时, 从器件正常操作。当 STE 为高电平时:

- 在 SIMO 上的任何进行中的接收操作都被暂停
- SOMI 被设置为输入方向

一个高 STE 信号不会复位 USART 模块。STE 输入信号不使用在 3 引脚受控模式中。

19.2.4 SPI 使能

在 SPI 模式下, SPI 发送/接收使能位 USPIEx 使能或禁用 USART。当 USPIEx=0 时, 在当前数据传输完成后 USART 会停止操作, 或如果没有操作处于活动状态的话会立即停止操作。一个 PUC 或一组 SWRST 位立即禁止了 USART 且任何活动传输被终止。

19.2.4.1 发送使能

当 USPIEx=0 时, 不发送任何更多写入 UxTXBUF。当 USPIEx = 1 且 BRCLK 源处于活动状态时, 写入 UxTXBUF 的数据开始传输。图 19-4 和图 19-5 给出了发送使能状态结构图。

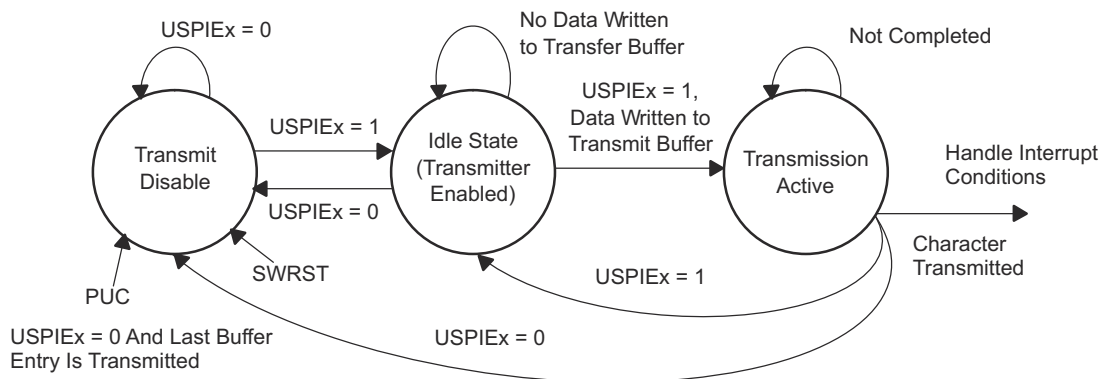


图 19-4. 主器件发送使能状态结构图

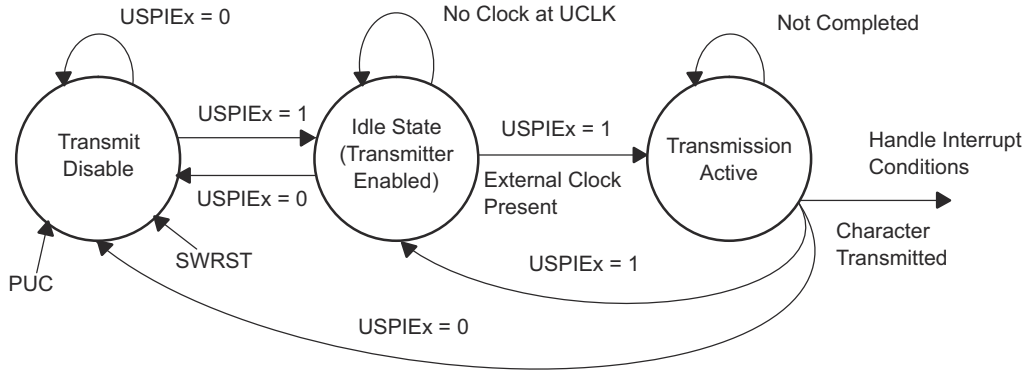


图 19-5. 从器件发送使能状态结构图

19.2.4.2 接收使能

在图 19-6 和图 19-7 中给出了 SPI 接收使能状态结构图。当 $USPIEx=0$ 时，UCLK 被禁止转移数据到 RX 移位寄存器。

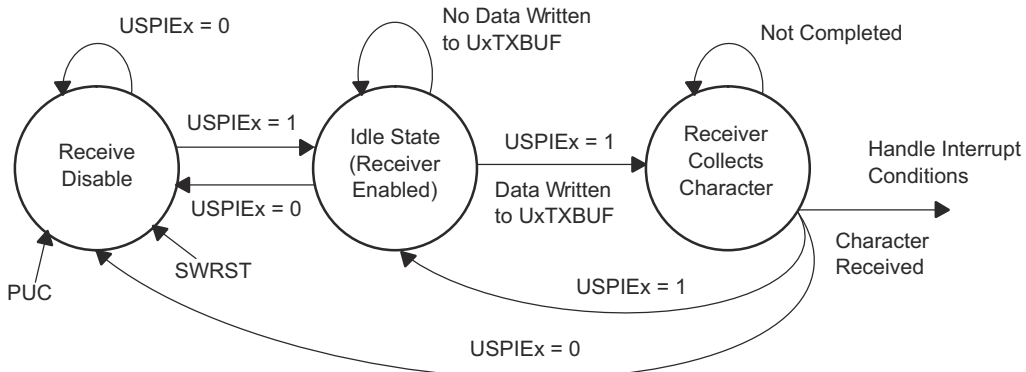


图 19-6. SPI 主器件接收使能状态结构图

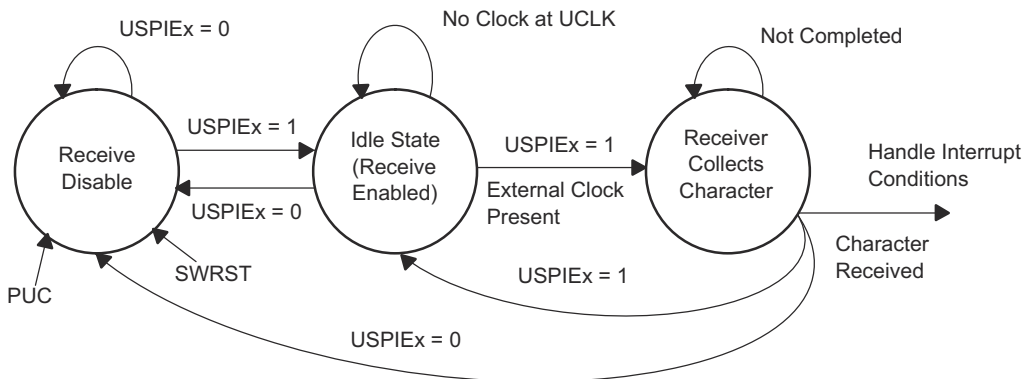


图 19-7. SPI 从器件接收使能状态结构图

19.2.5 串行时钟控制

UCLK 由 SPI 总线上的主器件提供。当 $MM = 1$ 时，BITCLK 由 UCLK 引脚上的 USART 波特率发生器提供，如图 19-8 所示。当 $MM=0$ 时，USART 时钟由 UCLK 引脚上的主机提供，不使用波特率发生器，且 $SSELx$ 位是“无关”。SPI 接收器和传送器并行操作且并数据传输使用相同的时钟源。

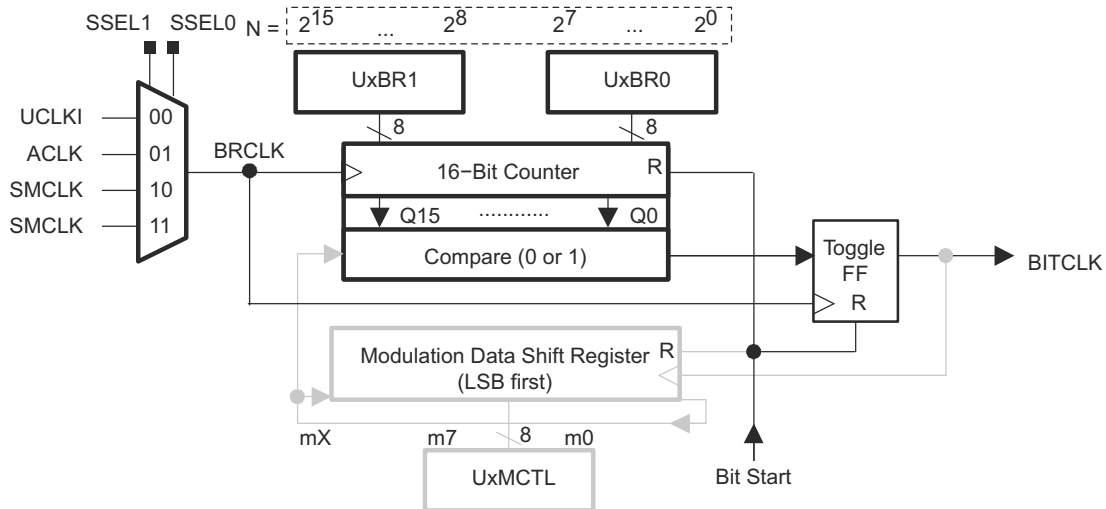


图 19-8. SPI 波特率发生器

UxBR0+ UxBR1 的 16 位值是 USART 时钟源的分频因子，BRCLK。主器件模式下可以生成的最大波特率为 BRCLK/2。在从模式下可以产生的最大波特率是 BRCLK。在 USART 波特率发生器中的调制器不用于 SPI 模式，并建议设置到 000h。UCLK 频率由下式给出：

$$\text{Baud rate} = \frac{\text{BRCLK}}{\text{UxBR}} \text{ with UxBR} = [\text{UxBR1}, \text{UxBR0}]$$

19.2.5.1 串行时钟的极性和相位

可通过 USART 的 CKPL 和 CKPH 控制位独立配置 UCLK 的极性和相位。在图 19-9 中给出了每种情况下的时序。

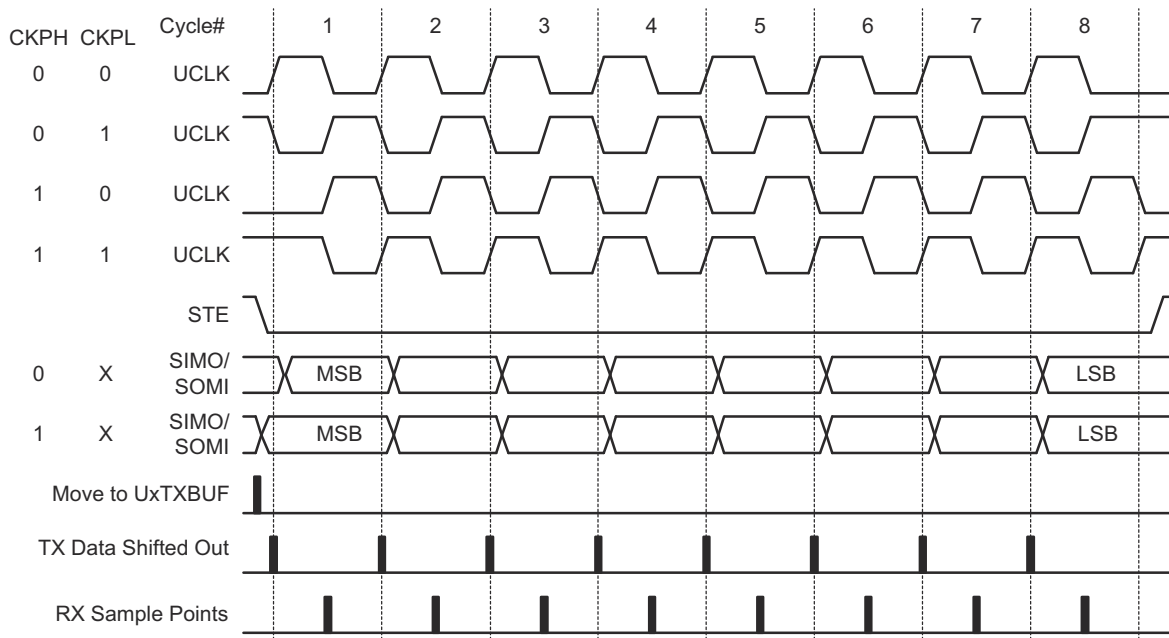


图 19-9. USART SPI 时序

19.2.6 SPI 中断

USART 有一个传输中断矢量的和一个接收中断矢量。

19.2.6.1 SPI 的发送中断操作

发射器置位 UTXIFGx 中断标志表示 UxTXBUF 已准备好接受另一个字符。如果 UTXIE 和 GIE 也置位，将产生一个中断请求。如果一个中断请求被服务或一个字符被写到 UxTXBUF 中 UTXIFG 将自动复位。

在 PUC 之后或 SWRST = 1 时会设置 UTXIFGx。在 PUC 之后或 SWRST = 1 时会复位 UTXIEx。运行如图 19-10 所示。

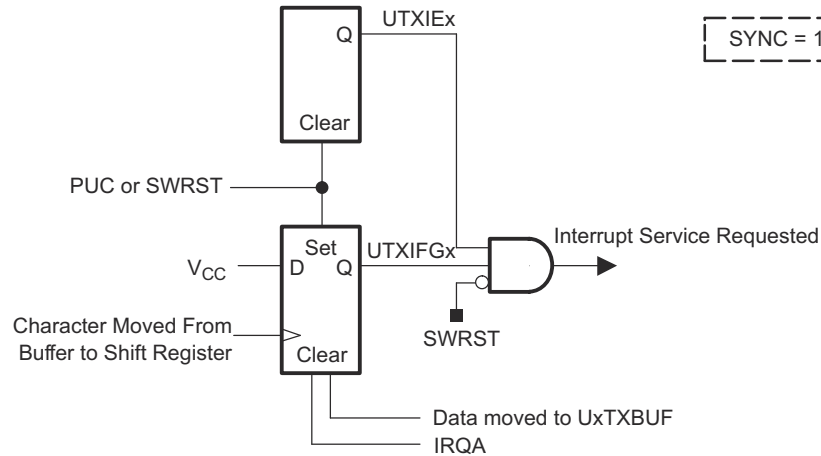


图 19-10. 发送中断操作

备注

在 SPI 模式下对 UxTXBUF 进行写入

当 UTXIFGx=0 且 USPIEx=1 时，写入 UxTXBUF 的数据可能会导致错误的数据传输。

19.2.6.2 SPI 接收中断操作

在每次接收到一个字符并加载到 UxRXBUF 中时，URXIFGx 中断标志被置为，如在图 19-11 和图 19-12 中所示。如果 URXIEx 和 GIE 也被置位，会产生一个中断请求。URXIFGx 和 URXIEx 由系统复位 PUC 信号进行复位，或在 SWRST = 1 时复位。如果挂起的中断被送达或当 UxRXBUF 被读取时，URXIFGx 会自动置位。

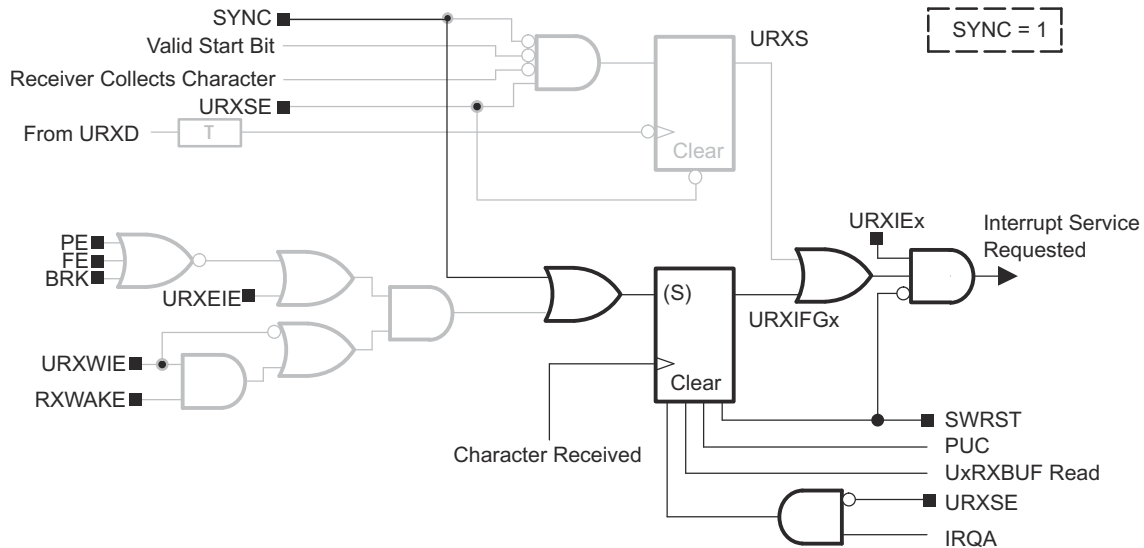


图 19-11. 接收中断操作

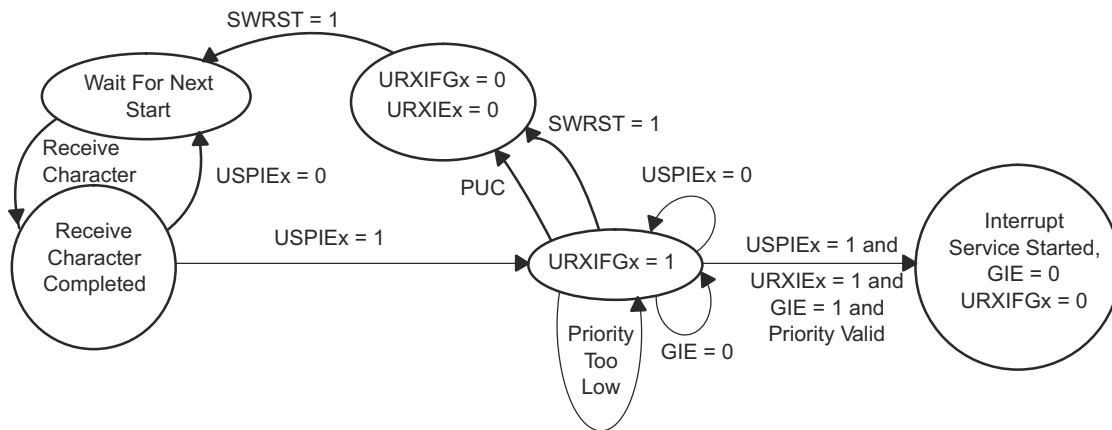


图 19-12. 接收中断状态图

19.3 USART 寄存器 : SPI 模式

表 19-1 列出了 SPI 模式下 USART0 和 USART1 的存储器映射寄存器。

表 19-1. USARTx 控制和状态寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
70h	U0CTL	USART0 控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 19.3.2
71h	U0TCTL	USART0 发送控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 19.3.3
72h	U0RCTL	USART0 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.4
73h	U0MCTL	USART0 模块控制	读取/写入	未改变	节 19.3.7
74h	U0BR0	USART0 波特率控制 0	读取/写入	未改变	节 19.3.5
75h	U0BR1	USART0 波特率控制 1	读取/写入	未改变	节 19.3.6
76h	U0RXBUF	USART0 接收缓冲区	读取	未更改	节 19.3.8
77h	U0TXBUF	USART0 发送缓冲区	读取/写入	未改变	节 19.3.9
4h	ME1	SFR 模块使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.10
0h	IE1	SFR 中断使能 1	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.12
2h	IFG1	SFR 中断标志 1	读取/写入	PUC 后为 82h	节 19.3.14
78h	U1CTL	USART1 控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 19.3.3
79h	U1TCTL	USART1 发送控制	读取/写入	PUC 后为 01h	节 19.3.3
7Ah	U1RCTL	USART1 接收控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.4
7Bh	U1MCTL	USART1 模块控制	读取/写入	未改变	节 19.3.7
7Ch	U1BR0	USART1 波特率控制 0	读取/写入	未改变	节 19.3.5
7Dh	U1BR1	USART1 波特率控制 1	读取/写入	未改变	节 19.3.6
7Eh	U1RXBUF	USART1 接收缓冲区	读取	未更改	节 19.3.8
7Fh	U1TXBUF	USART1 发送缓冲区	读取/写入	未改变	节 19.3.9
5h	ME2	SFR 模块使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.11
1h	IE2	SFR 中断使能 2	读取/写入	PUC 后为 00h	节 19.3.13
3h	IFG2	SFR 中断标志 2	读取/写入	PUC 后为 20h	节 19.3.15

备注

修改 SFR 位

为了避免修改其他模块的控制位, TI 建议使用 BIS.B 或 BIC.B 指令 (而非 MOV.B 或 CLR.B 指令) 设置或清除 IEx 和 IFGx 位。

19.3.1 UxCTL 寄存器

USARTx 控制寄存器

图 19-13 展示了 UxCTL，表 19-2 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-13. UxCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
未使用		I2C	CHAR	LISTEN	SYNC	MM	SWRST
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 19-2. UxCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	未使用	R/W	0h	未使用
5	I2C	R/W	0h	I ² C 模式使能。当 SYNC=1 时，该位选择 I ² C 或 SPI 操作。 0b = SPI 模式 1b = I ² C 模式
4	CHAR	R/W	0h	字符长度 0b = 7 位数据 1b = 8 位数据
3	LISTEN	R/W	0h	监听使能。LISTEN 位选择环回模式。 0b = 被禁用 1b = 被使能。发送信号被内部反馈到接收器。
2	SYNC	R/W	0h	同步模式使能 0b = UART 模式 1b = SPI 模式
1	MM	R/W	0h	主模式 0b = USART 是从器件 1b = USART 是主器件
0	SWRST	R/W	1h	软件复位使能 0b = 禁用。USART 复位释放操作。 1b = 启用。USART 逻辑保持在复位状态。

19.3.2 UxTCTL 寄存器

USARTx 发送控制寄存器

图 19-14 展示了 UxTCTL，表 19-3 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-14. UxTCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
CKPH	CKPL	SSELx		未使用		STC	TXEPT
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 1

表 19-3. UxTCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	CKPH	R/W	0h	时钟相位选择 0b = 数据在第一个 UCLK 边沿发生变化并在下一个边沿进行捕捉。 1b = 数据在第一个 UCLK 边沿上被捕捉且在下一个边沿上被改变。
6	CKPL	R/W	0h	时钟极性选择 0b = 未激活的状态为低电平。 1b = 未激活的状态是高电平。
5-4	SSELx	R/W	0h	源选择。这些位选择 BRCLK 时钟源。 00b = 外部 UCLK (仅对从模式有效) 01b = ACLK (仅对主模式有效) 10b = SMCLK (仅对主模式有效) 11b = SMCLK (仅对主模式有效)
3-2	未使用	R/W	0h	
1	STC	R/W	0h	从器件发送控制 0b = 4 引脚 SPI 模式 : 启用 STE 1b = 3 引脚 SPI 模式 : 禁用 STE
0	TXEPT	R/W	1h	发送器空标志。TXEPT 标志不在受控模式中使用。 0b = 传输正在进行和/或数据正在 UxTXBUF 中等待 1b = UxTXBUF 和 TX 移位寄存器为空

19.3.3 UxRCTL 寄存器

USARTx 接收控制寄存器

图 19-15 展示了 UxRCTL，表 19-4 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-15. UxRCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
FE	未使用	OE	未使用				
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 19-4. UxRCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	FE	R/W	0h	帧错误标志。当 MM = 1 且 STC = 0 时，该位指示总线冲突。FE 在受控模式下未使用。 0b = 未检测到冲突 1b = STE 上出现下降沿，指示发生总线冲突。
6	未使用	R/W	0h	未使用
5	OE	R/W	0h	溢出错误标志。在前一个字符被读取前，一个字符被传输进 UxRXBUF 时，该位被置位。当 UxRXBUF 被读取时，OE 自动复位，当 SWRST=1 时，也可以由软件复位。 0b = 无错误 1b = 发生了溢出错误
4-0	未使用	R/W	0h	未使用

19.3.4 UxBR0 寄存器

USARTx 波特率控制 0 寄存器

图 19-16 展示了 UxBR0，表 19-5 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-16. UxBR0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 19-5. UxBR0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxBR0	R/W	0h	波特率发生器使用 {UxBR1+ UxBR0} 的内容来设置波特率。如果 UxBR<2，会发生不可预知的 SPI 操作。

19.3.5 UxBR1 寄存器

USARTx 波特率控制 1 寄存器

图 19-17 展示了 UxBR1，表 19-6 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-17. UxBR1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
2 ¹⁵	2 ¹⁴	2 ¹³	2 ¹²	2 ¹¹	2 ¹⁰	2 ⁹	2 ⁸
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 19-6. UxBR1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxBR1	R/W	0h	波特率发生器使用 {UxBR1+ UxBR0} 的内容来设置波特率。如果 UxBR<2，会发生不可预知的 SPI 操作。

19.3.6 UxMCTL 寄存器

USARTx 调制控制寄存器

图 19-18 展示了 UxMCTL，表 19-7 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-18. UxMCTL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
m7	m6	m5	m4	m3	m2	m1	m0
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 19-7. UxMCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxMCTLx	R/W	0h	调制控制寄存器不用于 SPI 模式，应被设置为 00h。

19.3.7 UxRXBUF 寄存器

USARTx 接收缓冲寄存器

图 19-19 展示了 UxRXBUF, 表 19-8 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-19. UxRXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UxRXBUFx							
r	r	r	r	r	r	r	r

表 19-8. UxRXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxRXBUFx	R	0h	接收数据缓冲是用户可以访问的, 并包含从接收移位寄存器那里最后接收到的字符。读取 UxRXBUF 将复位 OE 位和 URXIFGx 标志。在 7 位数据模式下, UxRXBUF 是已对齐的 LSB 且 MSB 总是复位。

19.3.8 UxTXBUF 寄存器

USARTx 发送缓冲寄存器

图 19-20 展示了 UxTXBUF, 表 19-9 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-20. UxTXBUF 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UxTXBUFx							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 19-9. UxTXBUF 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	UxTXBUFx	R/W	0h	发送数据缓冲是用户可以访问的并且包含要被发送的当前数据。当使用 7 位字符长度时, 在被转移到 UxTXBUF 前数据应该是已对齐的 MSB。数据被传输, MSB 首先被传输。写入 UxTXBUF 将清零 UTXIFGx。

19.3.9 ME1 寄存器

SFR 模块启用 1 寄存器

图 19-21 展示了 ME1, 表 19-10 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-21. ME1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
	USPIE0						
rw-0							

表 19-10. ME1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7				该位可用于其他模块。参阅特定器件的数据表。
6	USPIE0	R/W	0h	USART0 SPI 使能。该位启用针对 USART0 的 SPI 模式。 0b = 未启用模块 1b = 启用模块
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

19.3.10 ME2 寄存器

SFR 模块启用 2 寄存器

图 19-22 展示了 ME2, 表 19-11 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-22. ME2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
			USPIE1				
rw-0							

表 19-11. ME2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7				该位可用于其他模块。参阅特定器件的数据表。
6	USPIE1	R/W	0h	USART1 SPI 使能。该位启用 USART1 的 SPI 模式。 0b = 未启用模块 1b = 启用模块
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

19.3.11 IE1 寄存器

SFR 中断使能 1 寄存器

图 19-23 展示了 IE1, 表 19-12 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-23. IE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UTXIE0	URXIE0						
rw - 0		rw - 0					

表 19-12. IE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UTXIE0	R/W	0h	USART0 发送中断使能。该位启用 UTXIFG0 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被启用
6	URXIE0	R/W	0h	USART0 接收中断使能。该位启用 URXIFG0 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

19.3.12 IE2 寄存器

SFR 中断使能 2 寄存器

图 19-24 展示了 IE2, 表 19-13 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-24. IE2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
		UTXIE1	URXIE1				
rw - 0			rw - 0				

表 19-13. IE2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。
5	UTXIE0	R/W	0h	USART1 发送中断使能。该位启用 UTXIFG1 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被启用
4	URXIE0	R/W	0h	USART1 接收中断使能。该位启用 URXIFG1 中断。 0b = 中断未被使能 1b = 中断被使能
3-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

19.3.13 IFG1 寄存器

SFR 中断标志 1 寄存器

图 19-25 展示了 IFG1, 表 19-14 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-25. IFG1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
UTXIFG0	URXIFG0						
rw - 1		rw - 0					

表 19-14. IFG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	UTXIFG0	R/W	1h	USART0 发送中断标志。当 U0TXBUF 为空时, UTXIFG0 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
6	URXIFG0	R/W	0h	USART0 接收中断标志。当 U0RXBUF 收到一个完整的字符时, URXIFG0 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
5-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

19.3.14 IFG2 寄存器

SFR 中断标志 2 寄存器

图 19-26 展示了 IFG2, 表 19-15 中对此进行了介绍。

返回表 19-1。

图 19-26. IFG2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
		UTXIFG1	URXIFG1				
rw - 1			rw - 0				

表 19-15. IFG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。
5	UTXIFG1	R/W	1h	USART1 发送中断标志。当 U1TXBUF 为空时会设置 UTXIFG1。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
4	URXIFG1	R/W	0h	USART1 接收中断标志。当 U1RXBUF 收到一个完整的字符时, URXIFG1 被置位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
3-0				其它模块可使用这些位。请参阅器件专用数据表。

This page intentionally left blank.



OA 是一个通用的运算放大器。本章介绍了 OA。MSP430x22x4 器件中应用了两个 OA 模块。

20.1 OA 介绍	556
20.2 OA 操作	557
20.3 OA 寄存器	564

20.1 OA 介绍

OA 运算放大器支持模数转换前的前端模拟信号调理。

OA 的特性包括：

- 单电源，低电流运行
- 轨到轨输出
- 可编程建立时间与功耗的关系
- 可通过软件选择配置
- 可通过软件选择用于 PGA 实现方案的反馈梯形电阻

备注

多个 OA 模块

有些器件可以内置一个以上的 OA 模块。如果在一个器件上出现一个以上的 OA 模块，则多 OA 模块在操作上完全相同。

本章中，将会命名 OAxCTL0 这样的术语来描述寄存器的名字。这种情况下，x 被用于指代正在被讨论的 OA 模块。在操作完全相同的情况下，寄存器被简写为 OAxCTL0。

OA 模块框图如图 20-1 所示。

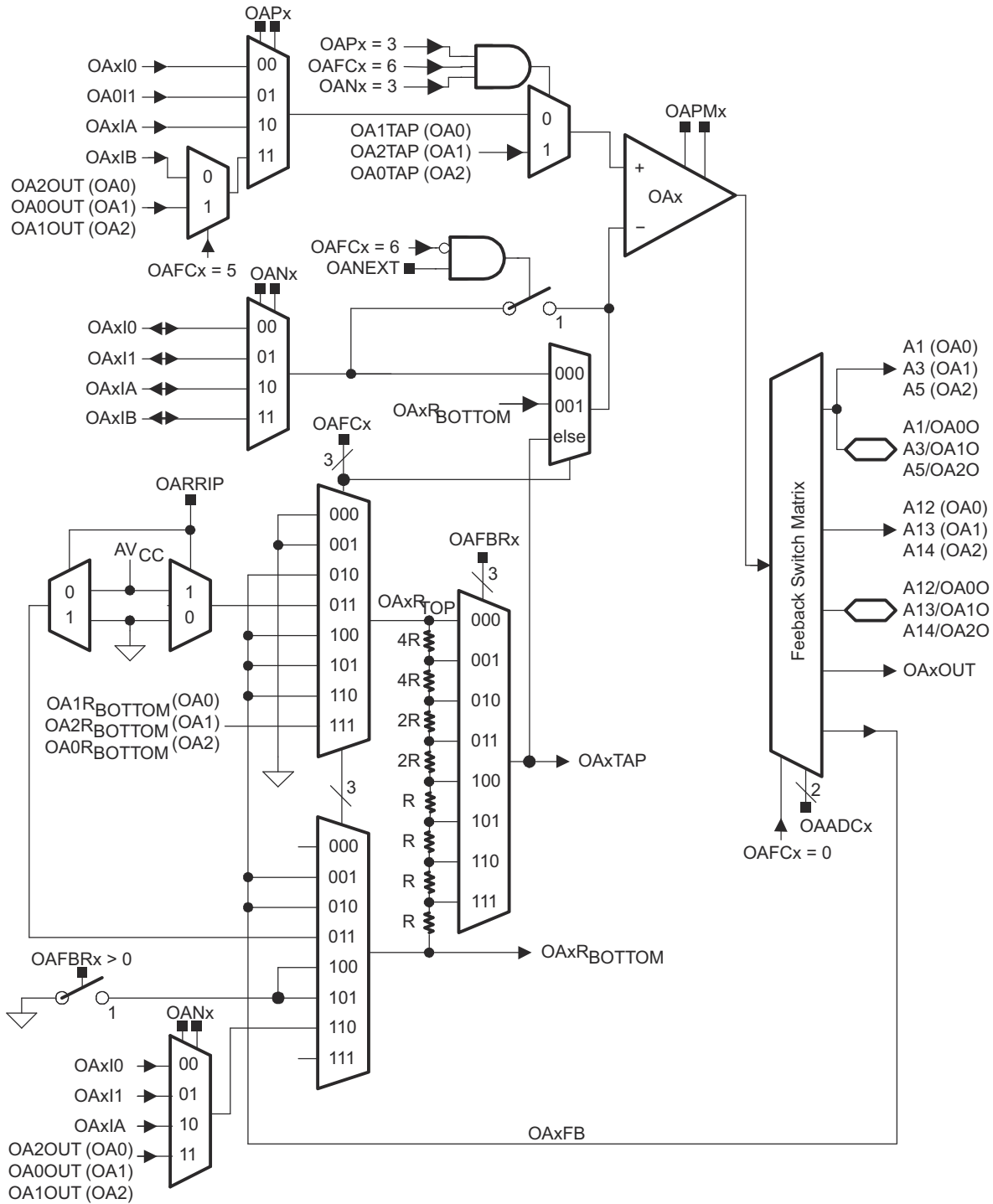


图 20-1. OA 方框图

20.2 OA 操作

OA 模块由用户软件配置。下面部分将讨论 OA 的设置和操作。

20.2.1 OA 放大器

OA 是一个可配置、低电流、轨对轨输出的运算放大器。它可以被配置成反相放大器，或同相放大器，或与其它 OA 模块组合形成差分放大器。OA 的输出回转速率可以用 OAPMx 位来配置最佳的稳定时间与功耗。当 OAPMx = 00 时，OA 关闭，输出为高阻态。当 OAPMx > 0 时，OA 打开。参数请参阅《特定器件的数据手册》。

20.2.2 OA 输入

OA 具有可配置的输入选择。+ 和 - 端的信号输入可以通过 OANx 和 OAPx 位进行独立选择并且可以被选择为外部信号或内部信号。OAxI0 和 OAxI1 是为每一个 OA 模块提供的外部信号。OA0I1 为所有 OA 模块都提供一个内部相连的同相输入。OAxIA 和 OAxIB 提供相关器件输入。信号连接请参阅《器件数据表》。

当一种模式不需要外部反相输入时，设置 OANEXT 位可使内部反相输入对外可用。

20.2.3 OA 输出和反馈路线

OA 具有可配置的输出选择，由 OAADCx 位和 OAFcx 位控制。OA 输出信号可以内部传送到 ADC 输入 A12 (OA0), A13 (OA1) 和 A14 (OA2)，或者连接到这些 ADC 的输入和其外部引脚。OA 输出信号也可以传送到 ADC 输入 A1 (OA0), A3 (OA1) 或 A5 (OA2)，和相应的外部引脚。OA 输出也可以通过设置 OAFcx 位连接到一个内部梯形电阻网络。梯形电阻网络抽头可由 OAFBRx 位选择以提供可编程的增益放大功能。

表 20-1 显示了 OA 输出和回馈线路配置。当 OAFcx = 0 时，OA 为通用模式，器件的反馈在外部完成。当 OAFcx > 0 和 OAADCx = 00 或 11 时，OA 的输出被保持在内部连接到器件。当 OAFcx > 0 和 OAADCx = 01 或 10 时，OA 输出由内部和外部两种路径连接到器件。

表 20-1. OA 输出配置

OAFcx	OAADCx	OA 输出和反馈路线
= 0	x0	OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A1, A3 或 A5。
= 0	x1	OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A12, A13 或 A14。
> 0	00	OAxOUT 只用作内部线路。
> 0	01	OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A12, A13 或 A14。
> 0	10	OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A1, A3 或 A5。
> 0	11	OAxOUT 内部连接到 ADC 输入 A12, A13, A14。外部 A12, A13, A14 引脚连接与 ADC 断开。

20.2.4 OA 配置

OA 可以通过 OAFcx 位配置来拥有不同的放大功能，如表 20-2 所列。

表 20-2. OA 模式选择

OAFcx	OA 模式
000	通用运算放大器
001	用于三运放差分放大器的单位增益缓冲器
010	单位增益缓冲器
011	比较器
100	同相 PGA (比例放大) 放大器
101	级连同相 PGA 放大器
110	反相 PGA 放大器
111	差分放大器

20.2.4.1 通用运算放大器模式

在该模式下，反馈梯形电阻与 OAx 是分离的，并且由 OAxCTL0 位定义信号路径。OAx 输入由 OAPx 和 OANx 位选择。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

20.2.4.2 用于差分放大器的单位增益缓冲器

该模式下，OAx 的输出被连接到 OAx 的反相输入端，以此来提供一个单位增益缓冲器。同相输入由 OAPx 位选择。反相输入端的外部连接被禁用并且 OANx 位可随意设置。通过梯形电阻，OAx 的输出也被路由来作为三运放差分放大器的一部分。该模式只用于三运放差分放大器结构。

20.2.4.3 单位增益模式

该模式下，OAx 的输出被连接到 OAx 的反相输入端以此来提供一个单位增益缓冲器。同相输入由 OAPx 位选择。反相输入端的外部连接被禁用并且 OANx 位随意设置。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

20.2.4.4 比较器模式

该模式下，反馈梯形电阻与 OAx 的输出是独立的。当 OARRIP = 0 时 R_{TOP} 连接到 AV_{SS}，R_{BOTTOM} 连接到 AV_{CC}。当 OARRIP = 1 时，梯形电阻的连接是相反的。R_{TOP} 连接到 AV_{CC}，R_{BOTTOM} 连接到 AV_{SS}。OAxTAP 信号连接到 OAx 的反相输入，为比较器提供由 OAFBRx 位选择的可编程阈值电压。同相输入由 OAPx 位选择。通过一个外部正反馈电阻来增加迟滞。反相输入端的外部连接被禁用并且 OANx 位随意设置。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

20.2.4.5 同相 PGA 模式

该模式下，OAx 的输出端被连接到 R_{顶部} 并且 R_{底部} 被连接到 AV_{SS}。OAxTAP 信号端被连接到 OAx 的反相输入端以此来提供一个具有 [1+OAxTAP 比值] 增益的可编程同相放大器。OAxTAP 比率由 OAFBRx 选择。如果 OAFBRx 位 = 0，增益为单位增益。同相输入由 OAPx 位选择。反相输入端的外部连接被禁用并且 OANx 位随意设置。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

20.2.4.6 级联同相 PGA 模式

该模式允许 OA 信号在内部按照反相模式级联 2 个或 3 个 OA。该模式下，当 OAPx = 11 时，OAx 的同相输入端被连接到 OA2OUT (OA0)，OA0OUT (OA1) 或 OA1OUT (OA2)。OAx 输出端可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

20.2.4.7 反相 PGA 模式

该模式下，OAx 的输出端被连接到 R_{顶部} 和 R_{底部} 被连接到一个模拟多路复用器，它可以复用 OAxI0, OAxI1, OAxIA 或由 OANx 位选择的剩余 OAs 的一个输出端。OAxTAP 信号端被连接到 OAx 的反相输入端以此来提供一个具有 -OAxTAP 比率增益的反相放大器。OAxTAP 比值由 OAFBRx 位选择。同相输入由 OAPx 位选择。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

备注

同时使用 OAx 负输入作为 ADC 输入

当引脚连接到反相输入多路复用器时，也被用作了 ADC 的输入，由于内部线路上的压降，转换误差可能上升到 5mV。

20.2.4.8 差分放大器模式

该模式允许在内部路由两运放或三运放仪表放大器的 OA 信号。图 20-2 显示了一个具有 OA0 和 OA1 配置的双运放配置。该模式下，通过经由反相 PGA 模式下的另一 OAx，OAx 的输出端被连接到 R_{顶部}。R_{底部} 被断开来提供一个单位增益缓冲器。该缓冲器与剩下的 1 到 2 个 OAx 组合形成差分放大器。OAx 输出可以通过 OAxCTL0 位来选择连接到 ADC 输入通道。

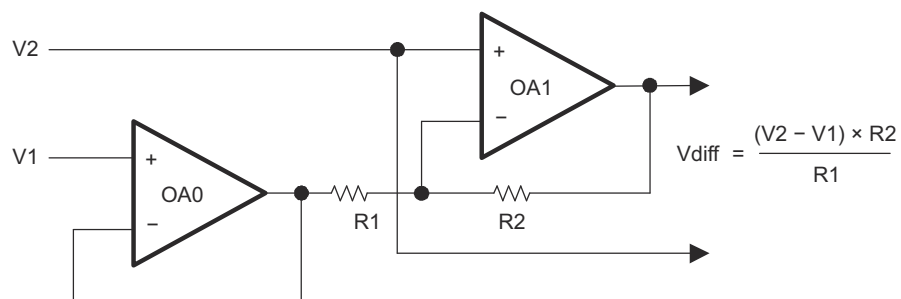
图 20-2 显示了一个由 OA0 和 OA1 构成的两运放差分放大器。控制寄存器的设置如表 20-3 所示。放大器的增益由 OA1 的 OAFBRx 位决定，如表 20-4 所示。OAx 的相互连接如图 20-3 所示。

表 20-3. 两运放差分放大器控制寄存器设置

寄存器	设置 (二进制)
OA0CTL0	xx xx xx 00
OA0CTL1	000 111 0 x
OA1CTL0	11 xx xx x x
OA1CTL1	xxx 110 0 x

表 20-4. 两运放差分放大器增益设置

OA1 OAFBRx	增益
000	0
001	1/3
010	1
011	1 2/3
100	3
101	4 1/3
110	7
111	15


图 20-2. 两运放差分放大器

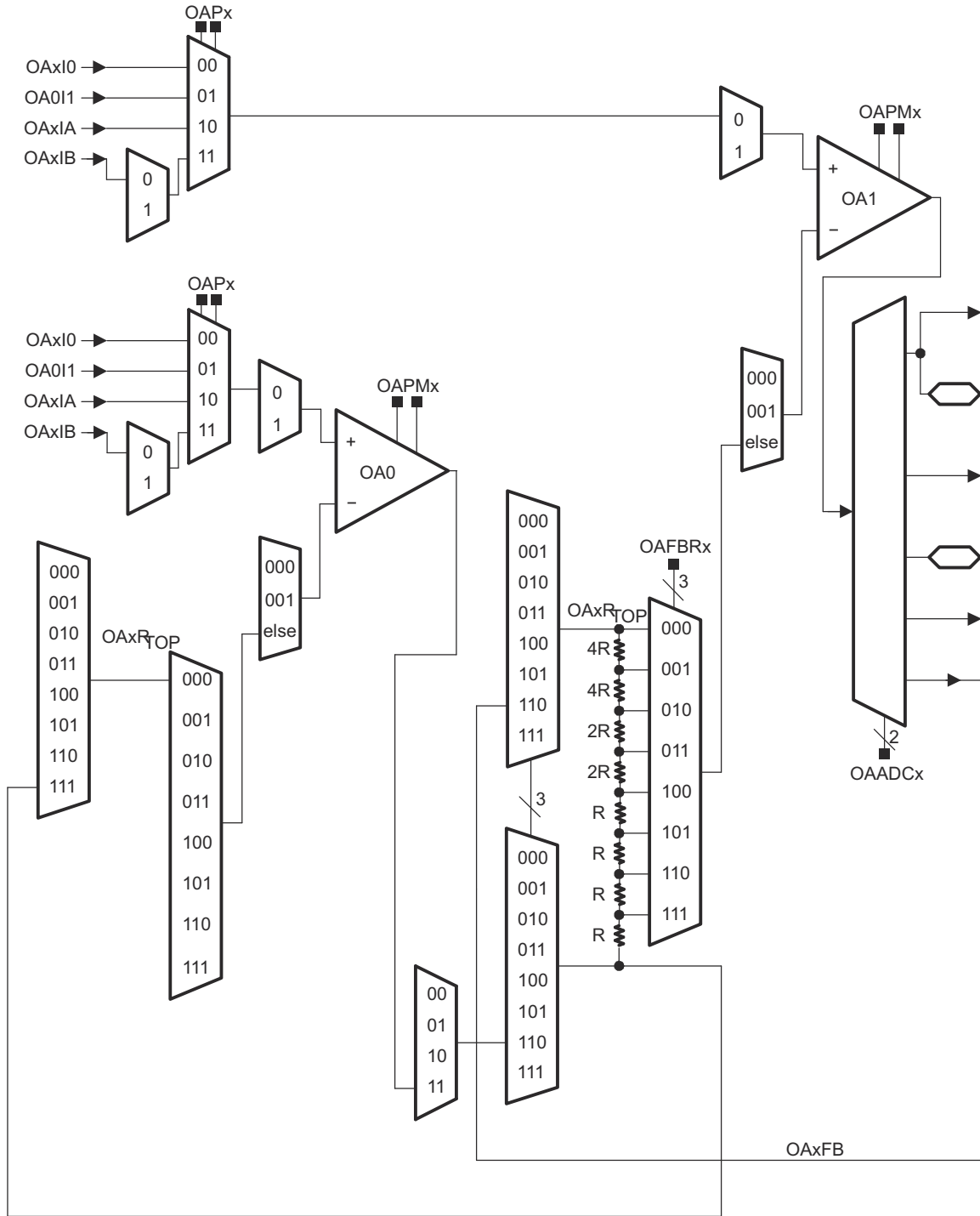


图 20-3. 两运放差分放大器 OAx 的相互连接

图 20-4 显示了使用 OA0, OA1 和 OA2 构成的三运放差分放大器 (三运放不是在所有的器件中都具有。请参阅《特定器件数据手册》。)。控制寄存器的设置如表 20-5 所示。放大器的增益由 OA0 和 OA2 的 OAFBRx 位决定。OA0 和 OA2 的 OAFBRx 位设定必须相同。增益设置如表 20-6 所示。OAx 的相互连接如图 20-5 所示

表 20-5. 三运放差分放大器控制寄存器设置

寄存器	设置 (二进制)
OA0CTL0	xx xx xx 00
OA0CTL1	xxx 001 0 x
OA1CTL0	xx xx xx 0 0
OA1CTL1	000 111 0 x
OA2CTL0	11 11 xx x x
OA2CTL1	xxx 110 0 x

表 20-6. 三运放差分放大器增益设置

OA0/OA2 OAFBRx	增益
000	0
001	1/3
010	1
011	1 2/3
100	3
101	4 1/3
110	7
111	15

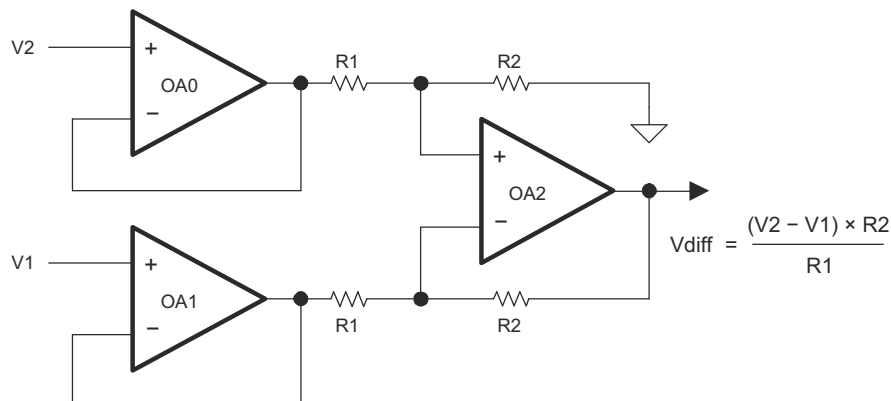


图 20-4. 三运放差分放大器

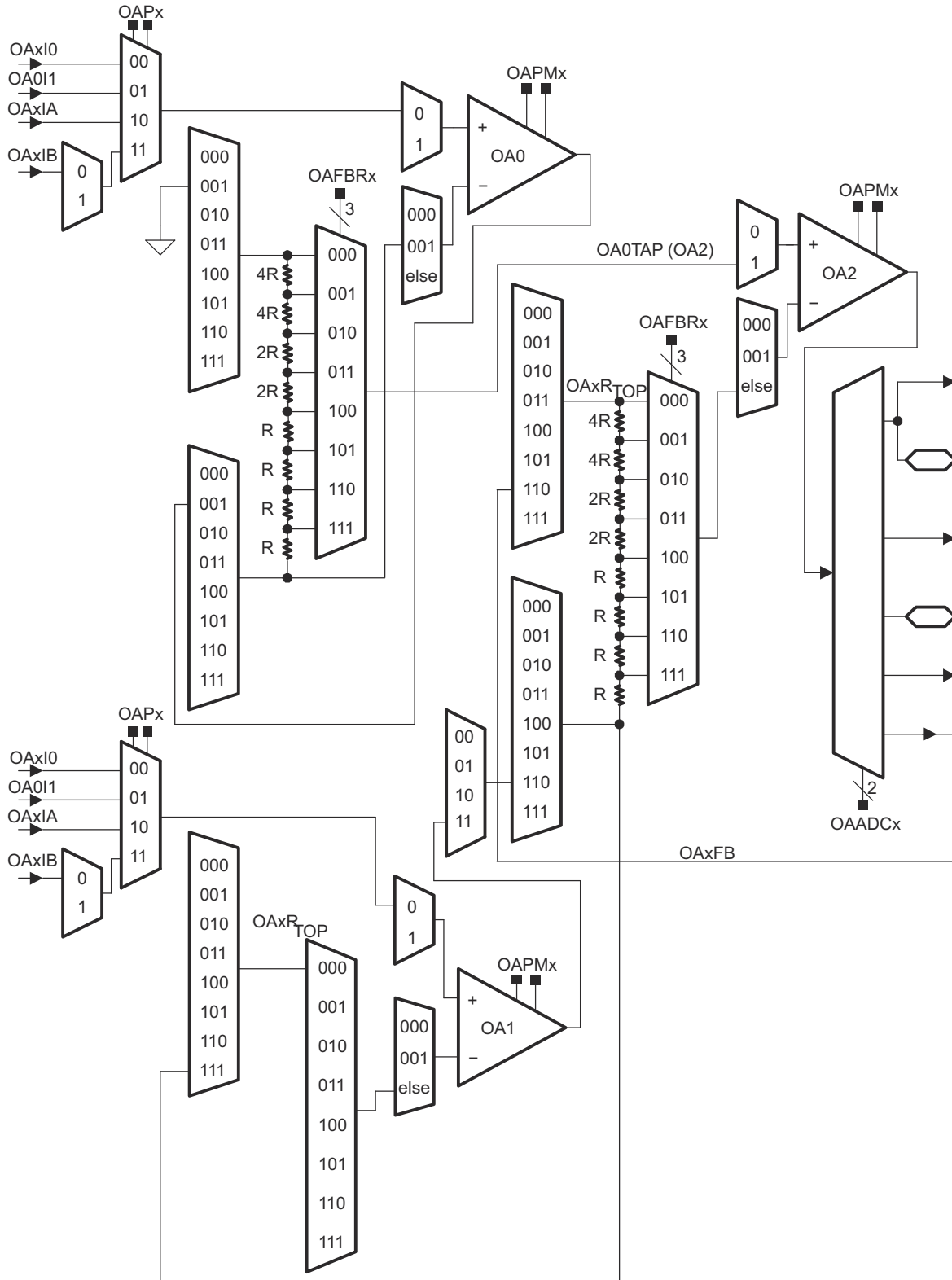


图 20-5. 三运放差分放大器 OAx 的相互连接

20.3 OA 寄存器

表 20-7 列出了 OA 的存储器映射寄存器。

表 20-7. OA 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
C0h	OA0CTL0	OA0 控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.2
C1h	OA0CTL1	OA0 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.3
C2h	OA1CTL0	OA1 控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.2
C3h	OA1CTL1	OA1 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.3
C4h	OA2CTL0	OA2 控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.2
C5h	OA2CTL1	OA2 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 20.3.3

20.3.1 OAxCTL0 寄存器

OAx 控制 0 寄存器

图 20-6 展示了 OAxCTL0，表 20-8 中对此进行了介绍。

返回表 20-7。

图 20-6. OAxCTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
OANx		OAPx		OAPMx		OAADCx	
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 20-8. OAxCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	OANx	R/W	0h	反向输入选择这些位为 OA 反相输入选择输入信号。 00b = OAxl0 01b = OAxl1 10b = OAxlA (请参阅所连信号的器件特定数据表) 11b = OAxlB (请参阅所连信号的器件特定数据表)
5-4	OAPx	R/W	0h	同相输入选择。这些位选择 OA 同相输入的输入信号。 00b = OAxl0 01b = OA0l1 10b = OAxlA (请参阅所连信号的器件特定数据表) 11b = OAxlB (请参阅所连信号的器件特定数据表)
3-2	OAPMx	R/W	0h	转换率选择。这些位为 OA 选择回速率与电流消耗。 00b = 关闭，输出高阻态 01b = 慢速 10b = 中速 11b = 快速
1-0	OAADCx	R/W	0h	OA 输出选择。当 OAPMx > 0 时，这些位，和 OAFcx 位一起，控制 OAx 的输出路径。 当 OAFcx = 0 时： 00b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A1、A3 或 A5 01b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A12、A13 或 A14 10b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A1、A3 或 A5 11b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A12、A13 或 A14 当 OAFcx > 0 时： 00b = OAxOUT 仅用于内部路由 01b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A12、A13 或 A14 10b = OAxOUT 连接到外部引脚和 ADC 输入 A1、A3 或 A5 11b = OAxOUT 在内部连接到 ADC 输入 A12、A13 或 A14。外部 A12，A13，A14 引脚连接与 ADC 断开。

20.3.2 OAxCTL1 寄存器

OAx 控制 1 寄存器

图 20-7 展示了 OAxCTL1，表 20-9 中对此进行了介绍。

返回表 20-7。

图 20-7. OAxCTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
OAFBRx			OAFcX			OANEXT	OARRIP
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 20-9. OAxCTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	OAFBRx	R/W	0h	OAx 反馈电阻器选择。 000b = 抽头 0 : 0R/16R 001b = 抽头 1 : 4R/12R 010b = 抽头 2 : 8R/8R 011b = 抽头 3 : 10R/6R 100b = 抽头 4 : 12R/4R 101b = 抽头 5 : 13R/3R 110b = 抽头 6 : 14R/2R 111b = 抽头 7 : 15R/1R
4-2	OAFcX	R/W	0h	OAx 功能控制。该位选择 OAx 的功能。 000b = 通用运算放大器 001b = 三运放差分放大器的单位增益缓冲器 010b = 单位增益缓冲器 011b = 比较器 100b = 同相 PGA 放大器 101b = 级联同相 PGA 放大器 110b = 反相 PGA 放大器 111b = 差分放大器
1	OANEXT	R/W	0h	OAx 反相输入外部可用。当集成的电阻网络被使用时，该位，当被置位时，把反相 OAx 输入连接到外部引脚。 0b = OAx 反相输入在外部不可用 1b = OAx 反相输入在外部可用
0	OARRIP	R/W	0h	比较器模式下的 OAx 反向电阻器连接。 0b = 当 OAFcX = 3 时 R _{TOP} 连接到 AV _{SS} ，R _{BOTTOM} 连接到 AV _{CC} 1b = 当 OAFcX = 3 时 R _{TOP} 连接到 AV _{CC} ，R _{BOTTOM} 连接到 AV _{SS}

比较器_A+ (Comparator_A+)



比较器_A+ 是一个模拟电压比较器。本章介绍了 2xx 系列 Comparator_A+ 的操作。

21.1 比较器_A+ 介绍.....	568
21.2 比较器_A+ 的操作.....	569
21.3 比较器_A+ 寄存器.....	574

21.1 比较器_A+ 介绍

Comparator_A+ 模块支持精密斜率模数转换、电源电压监控和外部模拟信号监控。

比较器_A+ 的特性包括：

- 反相和非反相端子输入复用器
- 比较器输出的软件可选的 RC 滤波器
- 为定时器_A 的捕获输入提供的输出端
- 端口输入缓冲的软件控制。
- 中断功能
- 可选的基准电压发生器
- 比较器和基准电压发生器可关闭
- 输入多路复用器

图 21-1 展示了 Comparator_A+ 方框图。

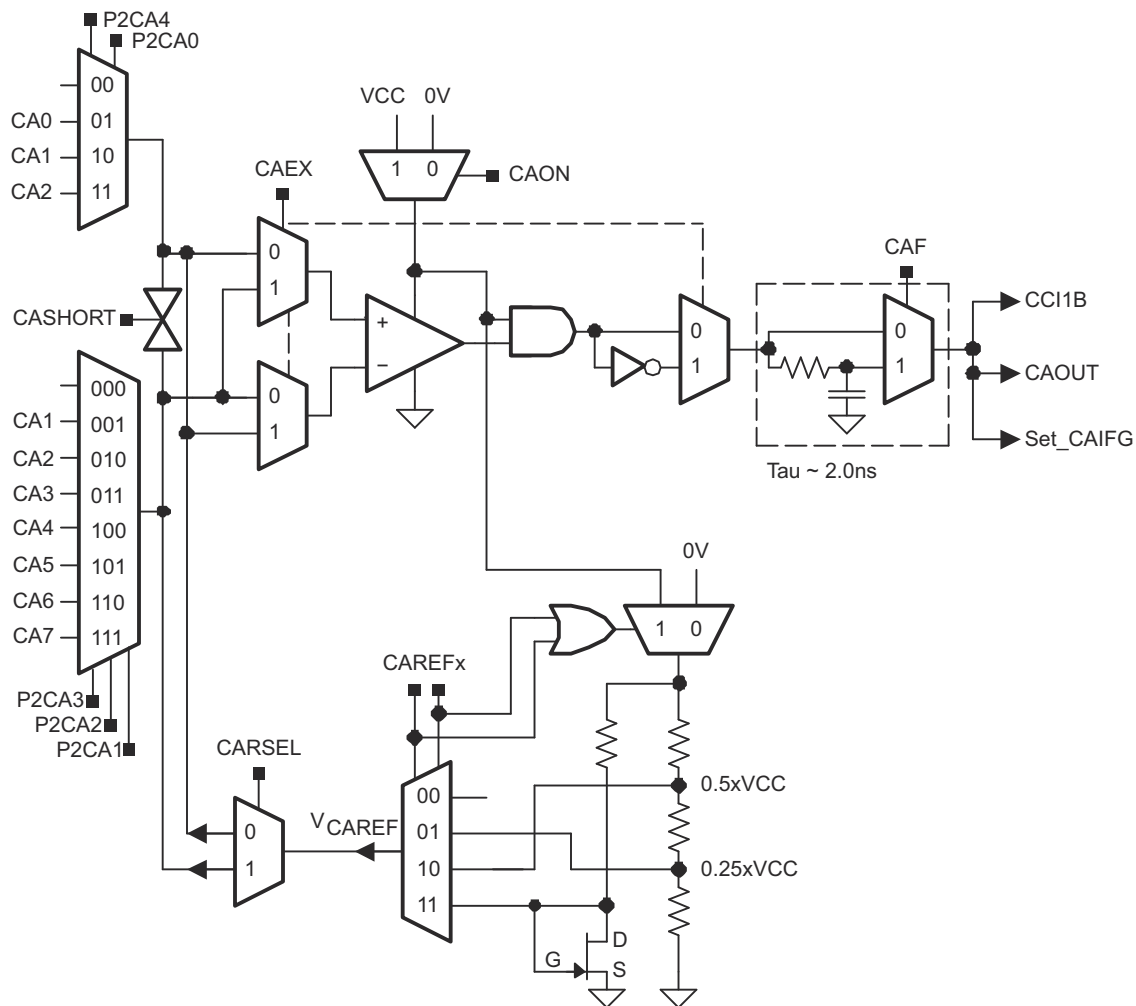


图 21-1. 比较器_A+ 方框图

备注

MSP430G2210 : 通道 2、5、6 和 7 可用。不应启用其他通道。

21.2 比较器_A+ 的操作

可以通过用户软件对比较器_A+ 模块进行配置。以下各节介绍了 Comparator_A+ 的设置和操作。

21.2.1 比较器

比较器比较 + 和 - 输入端子上的模拟电压。如果 + 端子比 - 端子更加正向，则比较器输出 CAOUT 为高电平。可以使用控制位 CAON 来打开或关闭比较器。在不使用该比较器时，应该将其关闭以减小电流消耗。当比较器关闭时，CAOUT 始终为低电平。

21.2.2 输入模拟开关

模拟输入开关使用 P2CAx 位将两个比较器输入端子连接到相关端口引脚或从这些引脚上断开。两个比较器端子输入均可以单独进行控制。P2CAx 位允许：

- 将一个外部信号应用到比较器的 + 和 - 端子。
- 将一个内部基准电压路由到一个相应的输出端口引脚

在内部，为了抑制信号路径上的失真，输入开关被构造成一个 T 型开关。

备注

比较器输入连接

当比较器打开时，其输入端子应该连接到一个信号、电源或者接地。否则，悬空电平会产生意外的中断并增加流耗。

备注

MSP430G2210：比较器通道 0、1、3 和 4 已实现，但在器件引脚上不可用。为了避免输入悬空，不应该启用这些比较器输入。

CAEX 位控制输入多路复用器，交换连接到比较器的 + 和 - 端子的输入信号。此外，交换比较器端子后，来自比较器的输出信号会反相。这就使得用户可以确定或者补偿比较器输入的偏移电压。

21.2.3 输入短路开关

CASHORT 位短路比较器_A+ 的输入。如图 21-2 中所示，它可被用来为比较器建立一个简单的采样保持器。

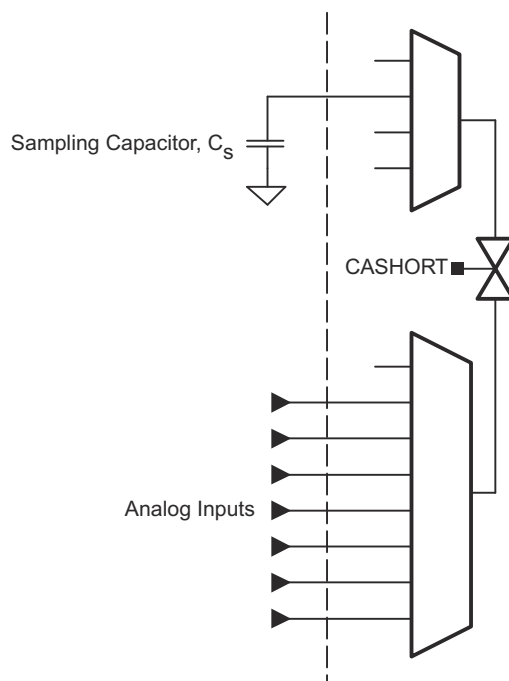


图 21-2. 比较器_A+ 的采样和保持

所需的采样时间与采样电容尺寸 (C_S)，与短路开关 (R_i) 串联的输入开关电阻，以及外部信号源 (R_S) 的电阻的大小成比例。总内部电阻 (R_i) 通常处于 2 至 $10k\Omega$ 的范围之内。采样电容 C_S 应该大于 $100pF$ 。可以用以下公式计算采样电容 C_S 充电时间常量， τ ：

$$\tau = (R_i + R_S) \times C_S$$

根据需要的精度，应该用 3τ 至 10τ 作为采样时间。对于 3τ ，采样电容器大约充电到输入信号电压电平的 95%。对于 5τ ，采样电容器充电到 99% 以上。对于 10τ ，采样电压足以实现 12 位的精度。

21.2.4 输出滤波器

比较器的输出可以使用内部的滤波器，也可以不使用。当设置了控制位 CAF 时，输出通过片上 RC 滤波器进行滤波。

如果输入端子上的电压差很小，则任何比较器输出都会振荡。内部和外部的寄生效应以及信号线、电源线和系统的其他组件上和它们之间产生的耦合都会导致图 21-3 中的运行状态。比较器输出振荡会降低比较结果的精度和分辨率。选择输出滤波器可以减少与比较器振荡相关的误差。

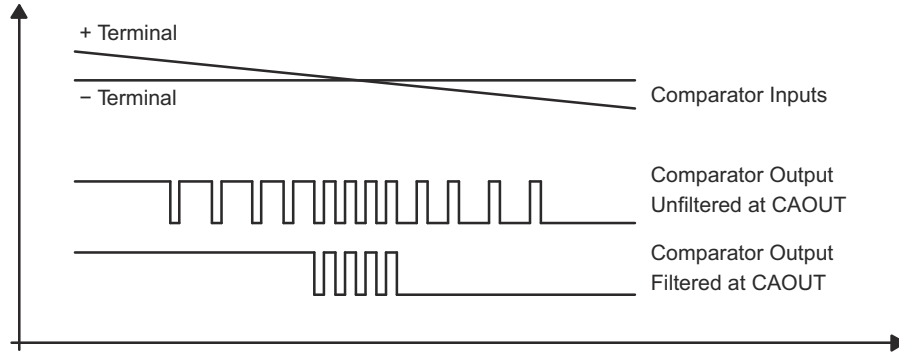


图 21-3. 在比较器输出端上的 RC 滤波器响应

21.2.5 基准电压发生器

电压基准发生器用于生成 V_{CAREF} ，该电压可施加到任一比较器输入端子。 $CAREFx$ 位控制电压发生器的输出。 $CARSEL$ 位选择要施加 V_{CAREF} 的比较器端子。如果比较器的两个输入端都使用外部输入信号，那么为了降低消耗，应该关闭内部基准发生器。电压基准发生器能够产生器件的部分 V_{CC} 或大约 0.55V 的固定晶体管阈值电压。

21.2.6 Comparator_A+ 端口禁用寄存器 CAPD

比较器的输入和输出功能和相关的 I/O 端口引脚复用，这些引脚都是数字 CMOS 栅极。当模拟信号被应用到数字 CMOS 门时，寄生电流可以从 V_{CC} 流向 GND 。如果输入电压接近该栅极的转换电平时就会产生寄生电流。禁用端口引脚缓冲能够消除寄生电流的流动，从而减少总流耗。

$CAPDx$ 位在设置后会禁用相应的引脚输入和输出缓冲器，如图 21-4 所示。当电流消耗十分关键时，任何连接到模拟信号的端口引脚都应通过其 $CAPDx$ 位禁用。

使用 $P2CAx$ 位选择比较器多路复用器的输入引脚会自动禁用该引脚的输入和输出缓冲器，无论相关 $CAPDx$ 位的状态如何都是如此。

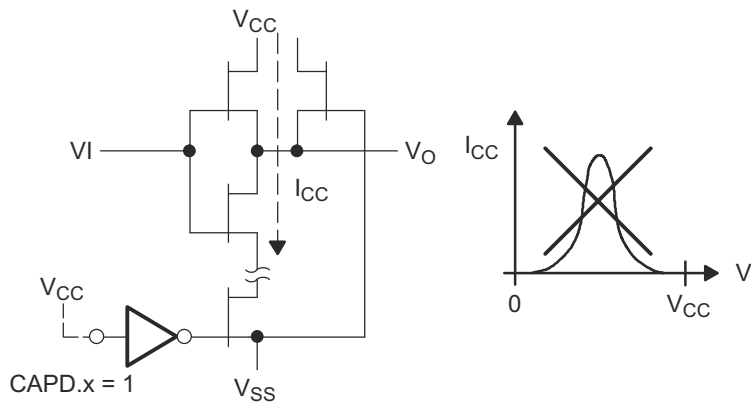


图 21-4. 一个 CMOS 反相器/缓冲器中的传输特性和功耗

备注

MSP430G2210 : 通道 0、1、3、4 已实现，但在引脚上不可用。为了避免输入悬空，不应该使用这些输入。

21.2.7 比较器_A+ 的中断

一个中断标志和一个中断向量与 **Comparator_A+** 相关联，如图 21-5 所示。在比较器输出的上升沿或下降沿设置中断标志 $CAIFG$ ，具体由 $CAIES$ 位选择。如果设置了 $CAIE$ 和 GIE 位，则 $CAIFG$ 标志会产生一个中断请求。为中断请求提供服务后， $CAIFG$ 标志会自动复位，也可以通过软件将该标志复位。

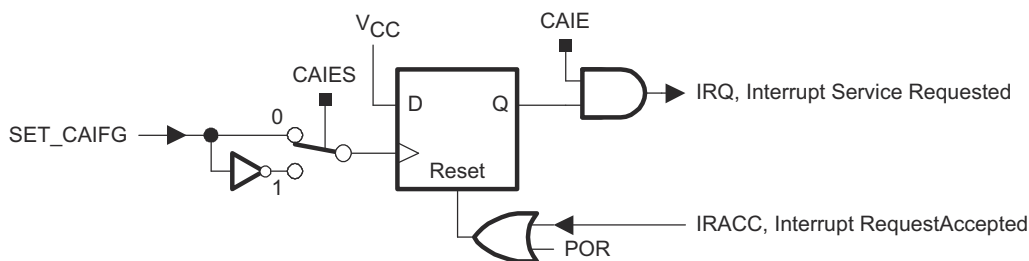


图 21-5. 比较器_A+ 的中断系统

备注

更改 CAIES 位的值可能会设置比较器中断标志 CAIFG。即使禁用比较器 (CAON = 0)，也可能发生这种情况。TI 建议在配置比较器后清除 CAIFG，以便在操作期间实现正确的中断行为。

21.2.8 Comparator_A+ 用于测量阻性元件

可以对 Comparator_A+ 进行优化，以使用单斜率模数转换精确测量阻性元件。例如，通过将热敏电阻的电容器放电时间与基准电阻器的放电时间进行比较，可以使用热敏电阻将温度转换为数字数据，如图 21-6 所示。把一个基准电阻 Rref 与 Rmeas 进行比较。

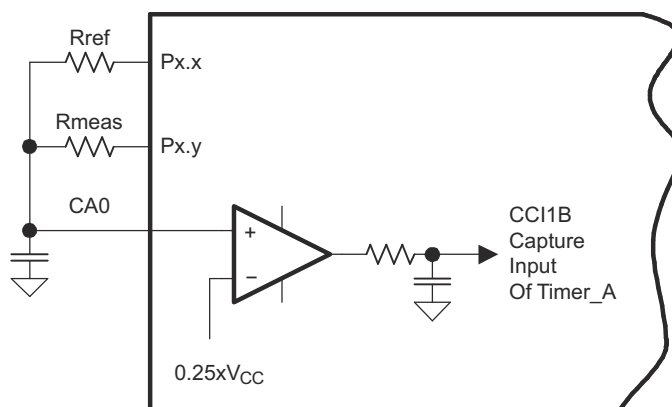


图 21-6. 温度测量系统

下面是通过 Rmeas 计算温度传感所使用的 MSP430 的资源：

- 用来对电容进行充电和放电的两个数字 I/O 端口。
- I/O 设置后可输出高电平 (V_{CC}) 以对电容器进行充电，复位后可对其进行放电。
- 当不使用 I/O 时，通过置位 CAPDx 位使其切换到高阻态输出。
- 一个输出通过 Rref 对电容器进行充电和放电。
- 一个输出通过 Rmeas 对电容器进行放电。
- + 端子被连接到比较器的正端。
- - 端子被连接到一个基准电平，例如 $0.25 \times V_{CC}$ 。
- 应使用输出滤波器来大大减少开关噪声。
- CAOUT 使用门控制定时器_A CCI1B，捕获电容放电时间。

可以测量一个以上的电阻元件。附加元件通过可用的 I/O 引脚连接到 CA0，并在未测量时切换到高阻抗。

热敏电阻的测量基于比例转换原理。图 21-7 中显示了两个电容器放电时间比的计算。

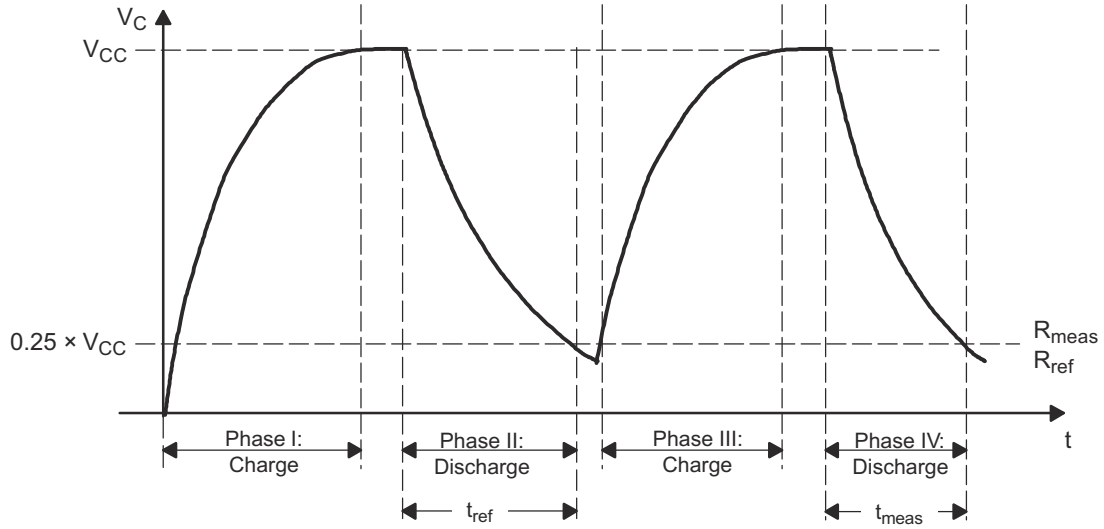


图 21-7. 温度测量系统的时序

在转换期间， V_{CC} 电压和电容值应当保持恒定，但这不是很关键，因为在比率中它们可以抵消：

$$\frac{N_{\text{meas}}}{N_{\text{ref}}} = \frac{-R_{\text{meas}} \times C \times \ln \frac{V_{\text{ref}}}{V_{\text{CC}}}}{-R_{\text{ref}} \times C \times \ln \frac{V_{\text{ref}}}{V_{\text{CC}}}}$$

$$\frac{N_{\text{meas}}}{N_{\text{ref}}} = \frac{R_{\text{meas}}}{R_{\text{ref}}}$$

$$R_{\text{meas}} = R_{\text{ref}} \times \frac{N_{\text{meas}}}{N_{\text{ref}}}$$

21.3 比较器_A+ 寄存器

表 21-1 列出了 Comparator_A+ 的存储器映射寄存器。

表 21-1. 比较器_A+ 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
59h	CACTL1	Comparator_A+ 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 21.3.2
5Ah	CACTL2	Comparator_A+ 控制 2	读取/写入	POR 后为 00h	节 21.3.3
5Bh	CAPD	比较器_A+ 端口禁用	读取/写入	POR 后为 00h	节 21.3.4

21.3.1 CACTL1 寄存器

Comparator_A+ 控制 1 寄存器

图 21-8 展示了 CACTL1，表 21-2 中对此进行了介绍。

返回表 21-1。

图 21-8. CACTL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
CAEX	CARSEL	CAREF _x		CAON	CAIES	CAIE	CAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 21-2. CACTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	CAEX	R/W	0h	比较器_A+ 的交换。该位交换比较器输入并使比较器输出反相。
6	CARSEL	R/W	0h	比较器_A+ 的基准电压选择。该位选择在哪个端子上施加 V _{CAREF} 电压。 当 CAEX= 0 时： 将 0b = V _{CAREF} 施加在正极端子上 将 01b = V _{CAREF} 施加在负极端子上 当 CAEX= 1 时： 将 0b = V _{CAREF} 施加在负极端子上 将 1b = V _{CAREF} 施加在正极端子上
5-4	CAREF	R/W	0h	比较器_A+ 的基准电压这些位选择基准电压 V _{CAREF} 。 00b = 内部基准关闭。使用一个外部基准电源。 01b = 0.25 × V _{CC} 10b = 0.50 × V _{CC} 11b = 选择二极管基准
3	CAON	R/W	0h	比较器_A+ 开启。该位可以打开比较器。比较器在关闭时不消耗电流。其参考电路可以被独立使能或禁止。 0b = 关闭 1b = 打开
2	CAIES	R/W	0h	比较器_A+ 的中断沿选择 0b = 上升沿 1b = 下降沿
1	CAIE	R/W	0h	比较器_A+ 的中断使能 0b = 禁用 1b = 启用
0	CAIFG	R/W	0h	Comparator_A+ 中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

21.3.2 CACTL2 寄存器

Comparator_A+ 控制寄存器 2 寄存器

图 21-9 展示了 CACTL2，表 21-3 中对此进行了介绍。

返回表 21-1。

图 21-9. CACTL2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
CASHORT	P2CA4	P2CA3	P2CA2	P2CA1	P2CA0	CAF	CAOUT
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)

表 21-3. CACTL2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	CASHORT	R/W	0h	输入短路。该位短接正负输入端子。 0b = 输入未短接 1b = 输入短接
6	P2CA4	R/W	0h	输入选择。该位连同 P2CA0 在 CAEX = 0 时选择正极端子输入，在 CAEX = 1 时选择负极端子输入。
5	P2CA3	R/W	0h	输入选择。这些位在 CAEX = 0 时选择负极端子输入，在 CAEX = 1 时选择正极端子输入。
4	P2CA2	R/W	0h	
3	P2CA1	R/W	0h	MSP430G2210：仅通道 2、5、6 和 7 可用。其他通道不应该被选择。 000b = 无连接 001b = CA1 010b = CA2 011b = CA3 100b = CA4 101b = CA5 110b = CA6 111b = CA7
2	P2CA0	R/W	0h	输入选择。该位连同 P2CA4 在 CAEX = 0 时选择正极端子输入，在 CAEX = 1 时选择负极端子输入。 00b = 无连接 01b = CA0 10b = CA1 11b = CA2
1	CAF	R/W	0h	比较器_A+ 的输出滤波器 0b = 不对 Comparator_A+ 输出进行滤波 1b = 对 Comparator_A+ 输出进行滤波
0	CAOUT	R	0h	比较器_A+ 的输出该位反映比较器输出的值。写入该位无效。

21.3.3 CAPD 寄存器

Comparator_A+ 端口禁用寄存器

图 21-10 展示了 CAPD，表 21-4 中对此进行了介绍。

返回表 21-1。

图 21-10. CAPD 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
CAPD7	CAPD6	CAPD5	CAPD4	CAPD3	CAPD2	CAPD1	CAPD0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 21-4. CAPD 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	CAPDx ⁽¹⁾	R/W	0h	比较器_A+ 端口禁用。这些位分别禁用与 Comparator_A+ 相关的端口引脚的输入缓冲器。例如，如果 CA0 位于引脚 P2.3 上，则 CAPDx 位可用于分别启用或禁用每个 P2.x 引脚缓冲器。CAPD0 禁用 P2.0，CAPD1 禁用 P2.1，依此类推。 0b = 启用输入缓冲器。 1b = 禁用输入缓冲器。

(1) MSP430G2210：通道 2、5、6 和 7 可用。其他通道不应该被禁用。

This page intentionally left blank.



ADC10 模块是一个高性能的 10 位模数转换器。本章概括性地描述了 2xx 系列 ADC10 模块的操作。有些器件的外部输入通道少于八个。

22.1 ADC10 介绍	580
22.2 ADC10 的运行	582
22.3 ADC10 寄存器	598

22.1 ADC10 介绍

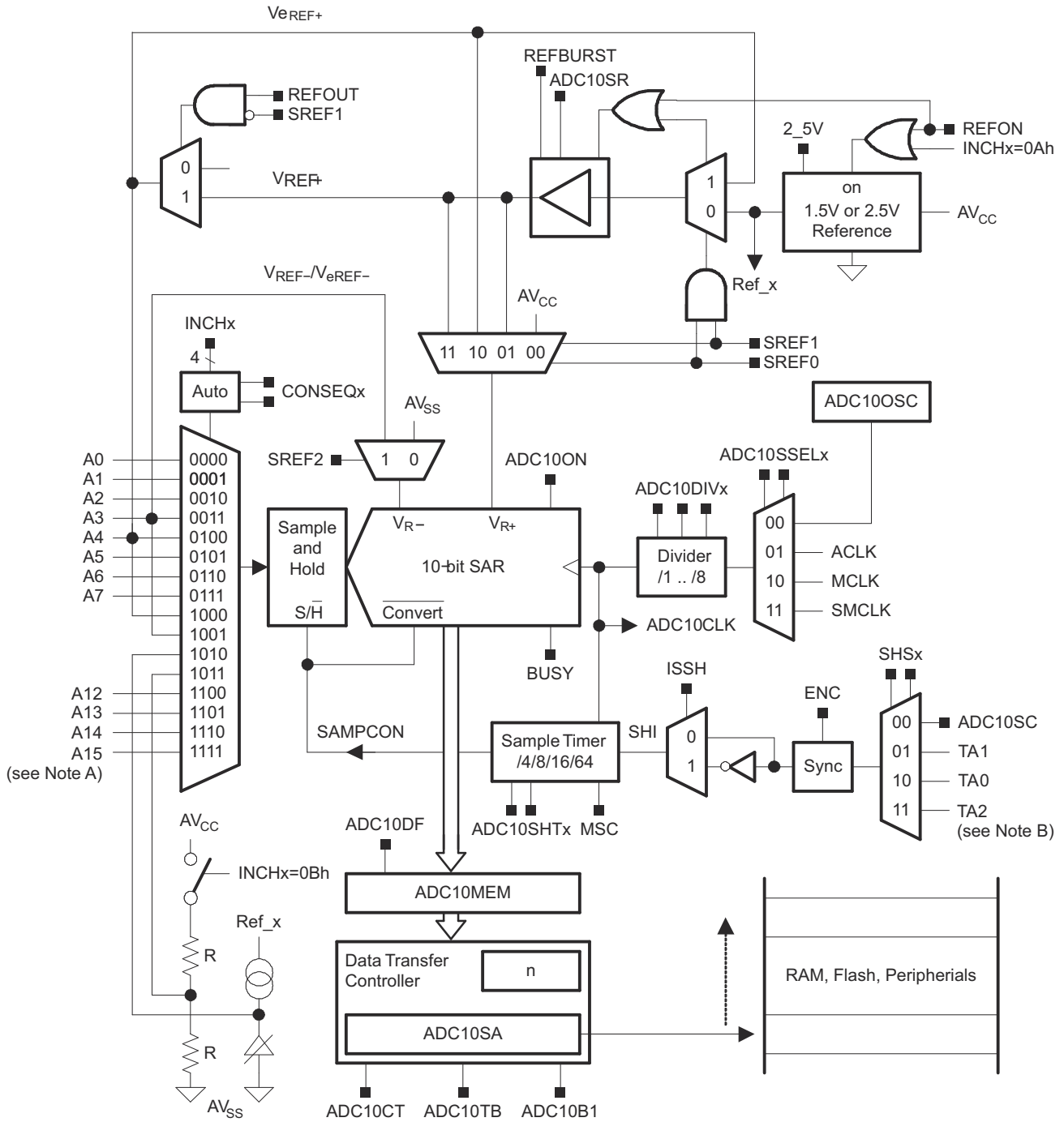
ADC10 模块支持快速，10 位模数转换。该模块应用 10 位 SAR 内核、样本选择控制、基准发生器和数据传输控制器 (DTC)。

利用 DTC，无需 CPU 干预即可转换 ADC10 样本并将其存储在存储器中的任何位置。通过用户软件可以配置该模块来支持各种应用。

ADC10 模块特征如下：

- 大于 200ksps 的最大转换速率
- 无失码的单片 10 位转换器
- 带有可编程采样周期的采样保持功能
- 通过软件或定时器_A 初始化转换
- 软件可选片上基准电压生成 (1.5V 或 2.5 V)
- 软件可选内部或外部基准
- 多达八个外部输入通道 (MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件上为十二个)
- 内部温度传感器的转换通道、V_{CC} 和外部基准
- 可选的转换时钟源
- 单通道、重复单通道、序列和重复序列转换模式
- ADC 内核和基准电压都可以独立关闭
- 自动存储转换结果的数据转换控制器

ADC10 模块的方框图如图 22-1 所示。



- A. 仅 MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件提供通道 A12 至 A15。在其他器件中，通道 A12 至 A15 连接到通道 A11。
并非所有器件都提供所有通道。
- B. MSP430F20x2、MSP430G2x31 和 MSP430G2x30 器件上的 TA1。

图 22-1. ADC10 方框图

22.2 ADC10 的运行

ADC10 模块可由用户软件配置。以下各节讨论了 ADC10 的设置和操作。

22.2.1 10 位 ADC 内核

ADC 内核将模拟输入转换为其 10 位数字表示并将结果存储在 ADC10MEM 寄存器中。内核利用两个可编程/可选的电压电平 (V_{R+} 和 V_{R-}) 来定义转换范围的最大值和最小值限值。当输入信号等于或高于 V_{R+} 时, 数字输出 (N_{ADC}) 为满量程 (03FFh), 当输入信号等于或低于 V_{R-} 时, 输出为零。输入通道和基准电平 (V_{R+} 和 V_{R-}) 在转换控制存储器中进行了定义。转换结果可以是直接二进制格式或二进制补码格式。在使用直接二进制形式时, ADC 结果的转换公式为:

$$N_{ADC} = 1023 \times \frac{V_{IN} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$$

ADC10 内核由 ADC10CTL0 和 ADC10CTL1 两个控制寄存器完成配置。内核由 ADC10ON 位启用。在大多数情况下, 只有当 ENC = 0 时才能修改 ADC10 控制位。在进行任何转换前 ENC 位必须设为 1。

22.2.1.1 转换时钟选择

ADC10CLK 既用作转换时钟, 又用于生成采样周期。可以使用 ADC10SSELx 位来选择 ADC10 源时钟, 并且可以使用 ADC10DIVx 位对其进行 1 至 8 分频。可能的 ADC10CLK 源为 SMCLK、MCLK、ACLK 和内部振荡器 ADC10OSC。

内部生成的 ADC10OSC 处于 5MHz 范围内, 但会因器件、电源电压和温度而异。关于 ADC10OSC 规格, 请参阅器件特定数据表。

用户必须确保在转换结束前为 ADC10CLK 所选择的时钟保持在激活状态。如果在转换过程中时钟被移除, 则操作不会完成, 并且任何结果都是无效的。

22.2.2 ADC10 输入和多路器

模拟输入多路复用器可以选择 8 个外部和 4 个内部模拟信号接口作为转换通道。输入模拟多路复用器是先关后开型开关以此来减少因通道切换而引入的噪声 (见 图 22-2)。输入模拟多路复用器也是一个 T 型开关, 可以减少通道间的耦合。未选择的通道与 A/D 隔开, 中间节点连接到模拟接地端 (V_{SS}), 从而使杂散电容接地, 以帮助消除串扰。

ADC10 利用电荷再分配原理。当输入在内部切换时, 切换动作可能在输入信号上引起瞬变。这些瞬变衰减和解决之前会导致错误的转换。

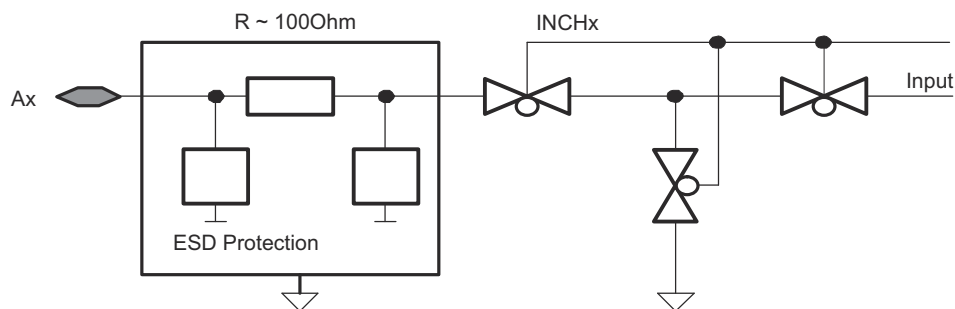


图 22-2. 模拟多路复用器

22.2.2.1 模拟端口选择

ADC10 外部输入 Ax 、 V_{eREF+} 和 V_{eREF-} 与通用 I/O 端口共享端子, 这些端口是数字 CMOS 门 (请参阅器件特定数据表)。当模拟信号被应用到数字 CMOS 门时, 寄生电流可以从 VCC 流向 GND。如果输入电压接近该栅极的转

换电平时就会产生寄生电流。禁用端口引脚缓冲能够消除寄生电流的流动，从而减少总功耗。ADC10AEx 位提供禁用端口引脚输入和输出缓冲器的功能。

```
; P2.3 on MSP430F22xx device configured for analog input
BIS.B #08h,&ADC10AE0 ; P2.3 ADC10 function and enable
```

对于器件引脚上仅提供部分 ADC10 外部输入通道 Ax 或 V_{eREF+}/V_{REF+} 和 V_{eREF-}/V_{REF-} 的器件，不得更改不可用引脚的默认寄存器位配置。请参阅器件特定数据表。

22.2.3 基准电压发生器

ADC10 模块包含一个具有两个可选电压电平的内置电压基准。设置 REFON=1 使能内部基准。当 REF2_5V = 1 时，内部基准电压为 2.5V。当 REF2_5V = 0 时，基准电压为 1.5V。内部基准电压可在内部使用 (REFOUT = 0)，当 REFOUT = 1 时，可通过引脚 V_{REF+} 在外部使用。只有当引脚 V_{REF+} 和 V_{REF-} 可用作器件引脚时，才应使用 REFOUT = 1。

可分别通过引脚 A4 和 A3 为 V_{R+} 和 V_{R-} 提供外部基准。当使用外部基准时，或当 V_{CC} 用作基准时，可以关闭内部基准以节省电力。

通过设置 SREF0 = 1 和 SREF1 = 1，可以缓冲外部正基准 V_{eREF+} （仅限具有 V_{eREF+} 引脚的器件）。这允许以缓冲电流为代价使用具有大内部电阻的外部基准。当 REFBURST = 1 时，增加的电流消耗仅限于采样转换周期。

ADC10 基准源不像 ADC12 那样需要外部存储电容。

22.2.3.1 内部基准电压低功耗特性

ADC10 的内部基准电压产生器是为低功耗应用而设计的。基准发生器包含一个带隙电压源和一个单独的缓冲器。每个基准的电流消耗分别在具体器件的数据表中给出。当 REFON = 1 时，这两者都被启用，当 REFON=0 时，这两者都被禁用。设置 REFON 时的总稳定时间约为 30 μ s。

当 REFON = 1，但没有转换处于活动状态时，缓冲器会自动禁用，并在需要时自动重新启用。当缓冲器被禁用时，无电流消耗。这种情况下，带隙电源保持被启用。

当 REFOUT = 1 时，REFBURST 位控制内部基准缓冲器的运行。当 REFBURST = 0 时，缓冲器持续开启，从而允许器件外部持续存在基准电压。当 REFBURST = 1 时，缓冲器在 ADC10 没有进行主动转换时自动禁用，并在需要时自动重新启用。

内部基准缓冲器也可以相对于功率设置来选择速度。当最大转换速率低于 50ksps 时，设置 ADC10SR = 1 可将缓冲器的电流消耗降低约 50%。

22.2.4 自动关断

ADC10 是为低功耗应用而设计的。当 ADC10 没有进行主动转换时，内核会自动禁用，并在需要时自动重新启用。ADC10OSC 也会在需要时自动启用，在不需要时自动禁用。内核或振荡器在被禁用时不消耗电流。

22.2.5 采样和转换时序

采样输入信号 SHI 的上升沿启动模数转换。SHI 信号源可以通过 SHSx 位来选择，包括如下：

- ADC10SC 位
- 定时器_A 输出单元 1
- 定时器_A 输出单元 0
- 定时器_A 输出单元 2

SHI 信号源的极性可以通过 ISSH 位来反转。SHTx 位选择采样周期 t_{sample} 为 4、8、16 或 64 个 ADC10CLK 周期。在与 ADC10CLK 同步后，采样计时器在选定的采样周期内将 SAMPCON 设置为高电平。总采样时间为 t_{sample} 加 t_{sync} 。由高到低的 SAMPCON 转换会启动模数转换，该转换需要 13 个 ADC10CLK 周期，如图 22-3 所示。

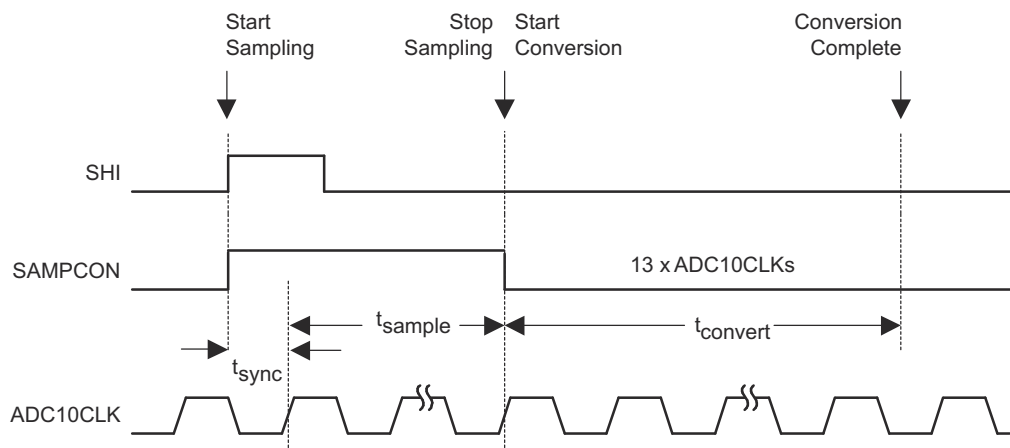


图 22-3. 采样时序

22.2.5.1 采样时序注意事项

当 SAMPCON=0 时，所有的 Ax 输入均为高阻态。当 SAMPCON = 1 时，选定的 Ax 输入可以在采样时间 t_{sample} 期间建模为 RC 低通滤波器，如图 22-4 所示。源看到内部 MUX-on 输入电阻 R_I (最大 2k Ω) 与电容器 C_I (最大 27pF) 串联。为了实现准确的 10 位转换，电容器 C_I 电压 V_C 必须充电到源电压 V_S 的 $1/2\text{LSB}$ 以内。

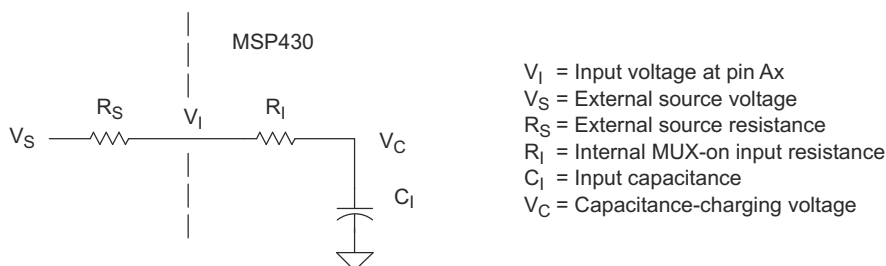


图 22-4. 模拟输入等效电路

源 R_S 和 R_I 的电阻会影响 t_{sample} 。可以使用以下公式来计算 10 位转换的最小采样时间。

$$t_{\text{sample}} > (R_S + R_I) \times \ln(2^{11}) \times C_I$$

R_I 和 C_I 的代入值在上面已经给出，公式变为：

$$t_{\text{sample}} > (R_S + 2\text{k}\Omega) \times 7.625 \times 27\text{pF}$$

例如，如果 R_S 是 10k Ω ，那么 $t_{\text{采样}}$ 必须大于 2.47 μs 。

当基准缓冲器用于突发模式时，采样时间必须大于计算出的采样时间加缓冲器的稳定时间 t_{REFBURST} ：

$$t_{\text{sample}} > \begin{cases} (R_S + R_I) \times \ln(2^{11}) \times C_I \\ t_{\text{REFBURST}} \end{cases}$$

例如，如果 V_{Ref} 为 1.5V， R_S 为 10k Ω ，则 t_{sample} 在 $\text{ADC10SR} = 0$ 时必须大于 2.47 μs ，在 $\text{ADC10SR} = 1$ 时必须大于 2.5 μs 。详细参数请参阅《器件专用数据表》。

使用外部基准时的缓冲器稳定时间的计算公式为：

$$t_{\text{REFBURST}} = S_R \times V_{\text{Ref}} - 0.5\mu\text{s}$$

其中：

S_R = 缓冲器压摆率 (当 $\text{ADC10SR} = 0$ 时约为 1 $\mu\text{s}/\text{V}$ ，当 $\text{ADC10SR} = 1$ 时约为 2 $\mu\text{s}/\text{V}$)

V_{Ref} =外部基准电压

22.2.6 转换时间

ADC10 有四个可由 CONSEQx 位选择的运行模式，在表 22-1 中进行讨论。

表 22-1. 转换模式概述

CONSEQx	模式	运行
00	单通道单次转换	一个单通道被转换一次
01	通道序列	一个通道序列被转换一次
10	单通道重复转换	一个单通道被重复转换
11	通道序列重复转换	一个通道序列被重复转换

22.2.6.1 单通道单次转换模式

一个 INCHx 选择的单通道被采样和转换一次。ADC 结果写入 ADC10MEM。图 22-5 显示了单通道单次转换模式的流程。当 ADC10SC 触发一次转换时，连续的转换可由 ADC10SC 位来触发。当使用任何其它触发源时，ENC 必须在每次转换间被切换。

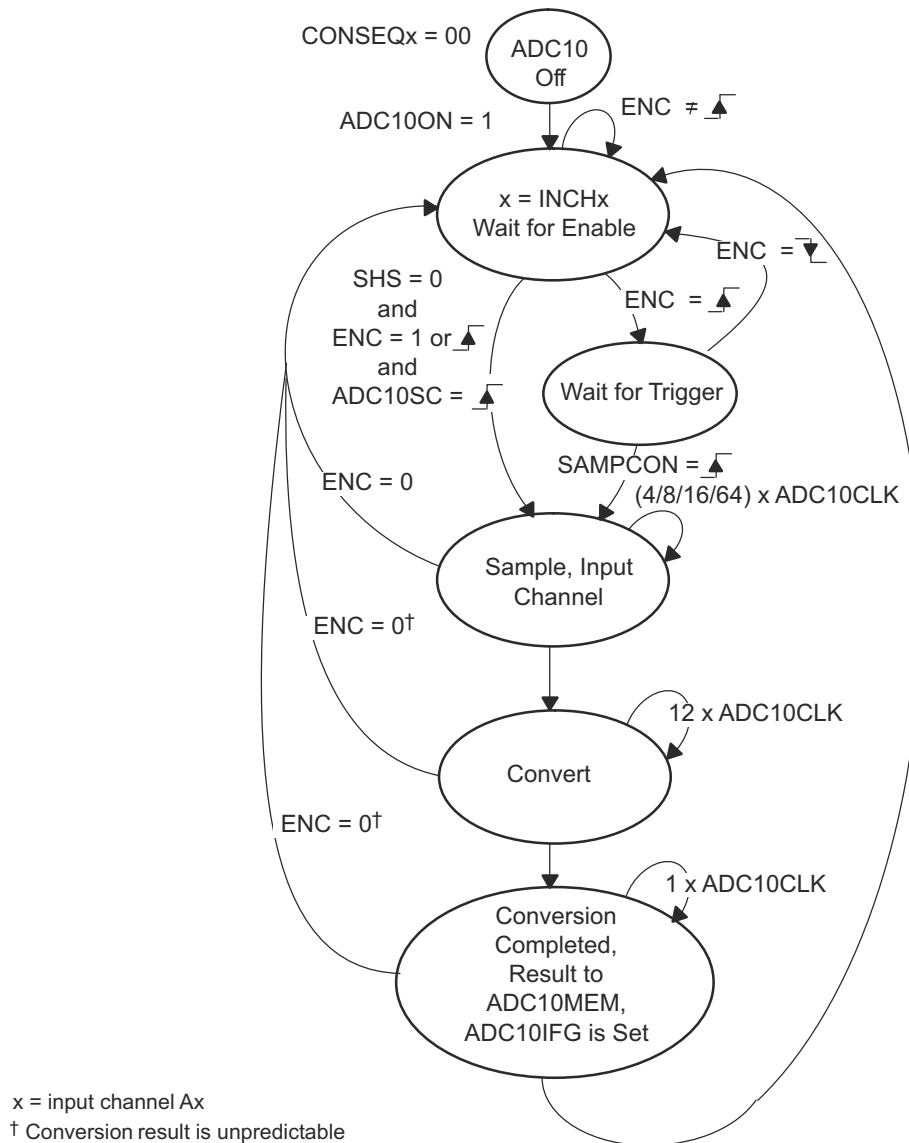


图 22-5. 单通道单次转换模式

22.2.6.2 通道序列模式

一个通道序列被采样和转换一次该序列从 INCHx 选择的通道开始，递减到通道 A0。每一个 ADC 结果都被写入 ADC10MEM。该序列在通道 A0 转换后停止。图 22-6 显示了通道序列模式。当 ADC10SC 触发一个序列时，连续的序列可由 ADC10SC 位来触发。当使用任何其它触发源时，ENC 必须在每个序列间被切换。

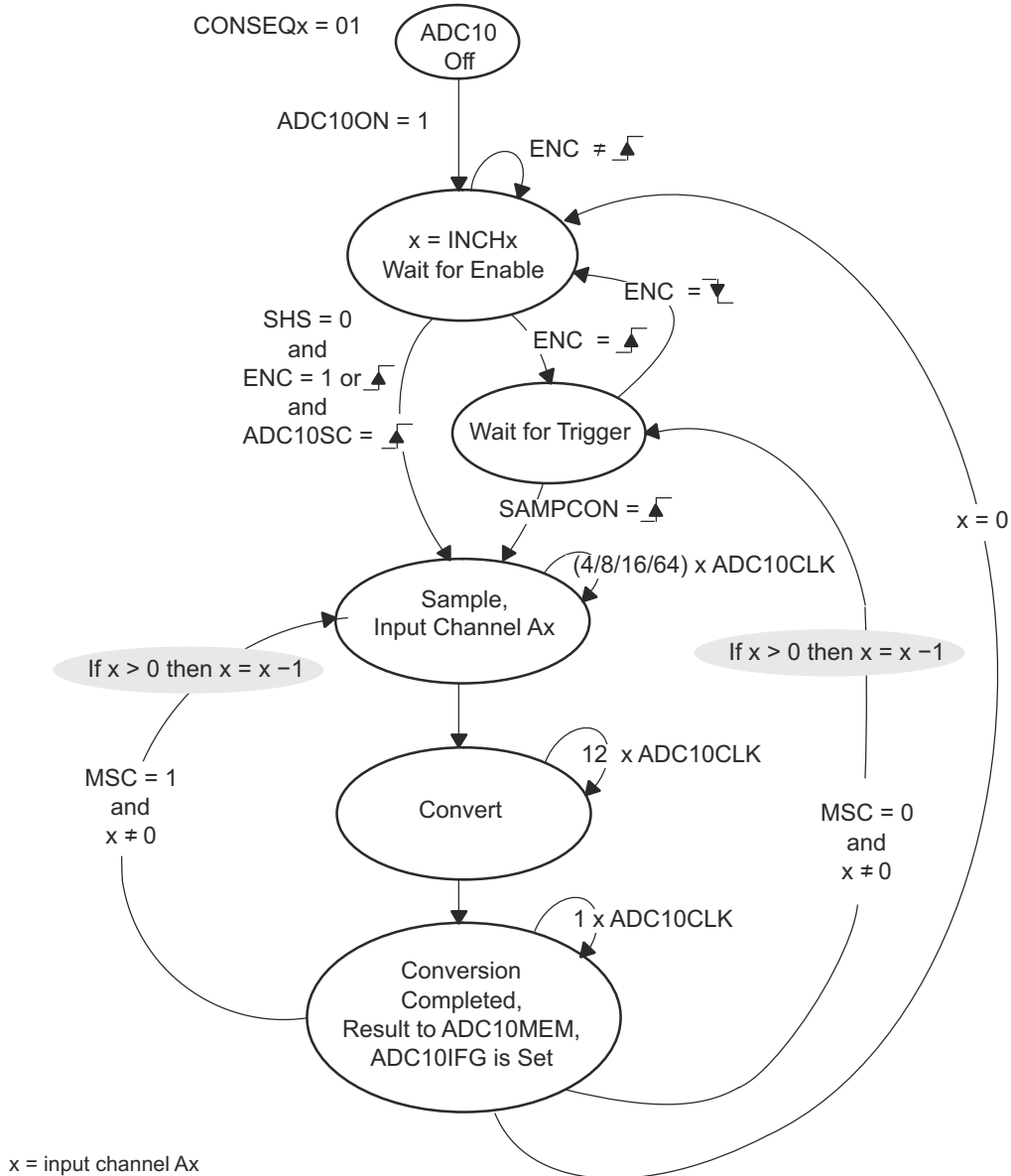


图 22-6. 通道序列模式

22.2.6.3 单通道重复模式

一个 INCHx 选择的单通道被连续采样和转换。每一个 ADC 结果都被写入 ADC10MEM。图 22-7 显示了单通道重复模式。

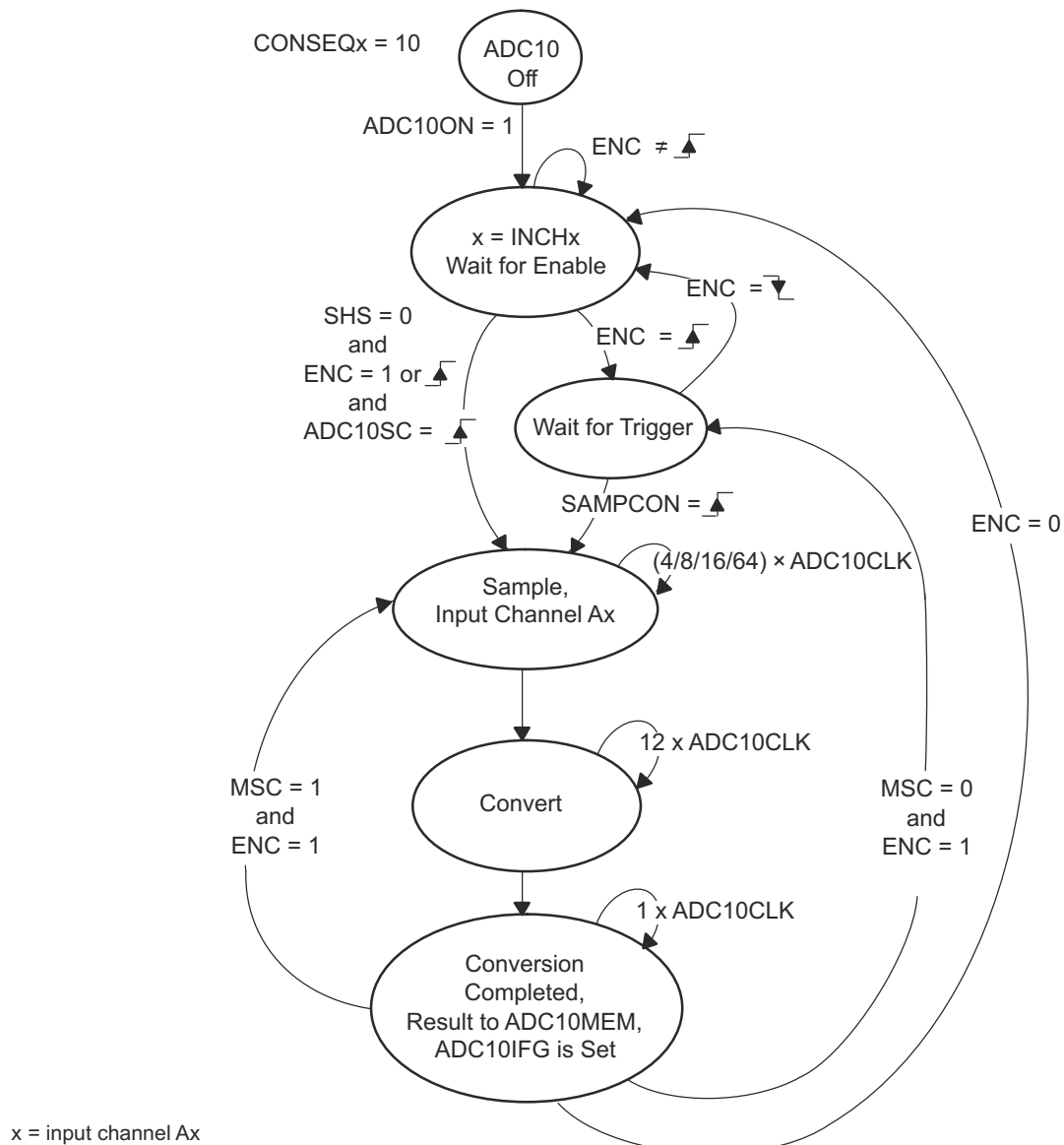


图 22-7. 单通道重复模式

22.2.6.4 通道的重复序列模式

一个通道序列被重复采样和转换。该序列从 INCHx 选择的通道开始，递减到通道 A0。每一个 ADC 结果都被写入 ADC10MEM。该序列在通道 A0 转换后结束，下一个触发信号重新开始该序列。图 22-8 显示了通道的重复序列模式。

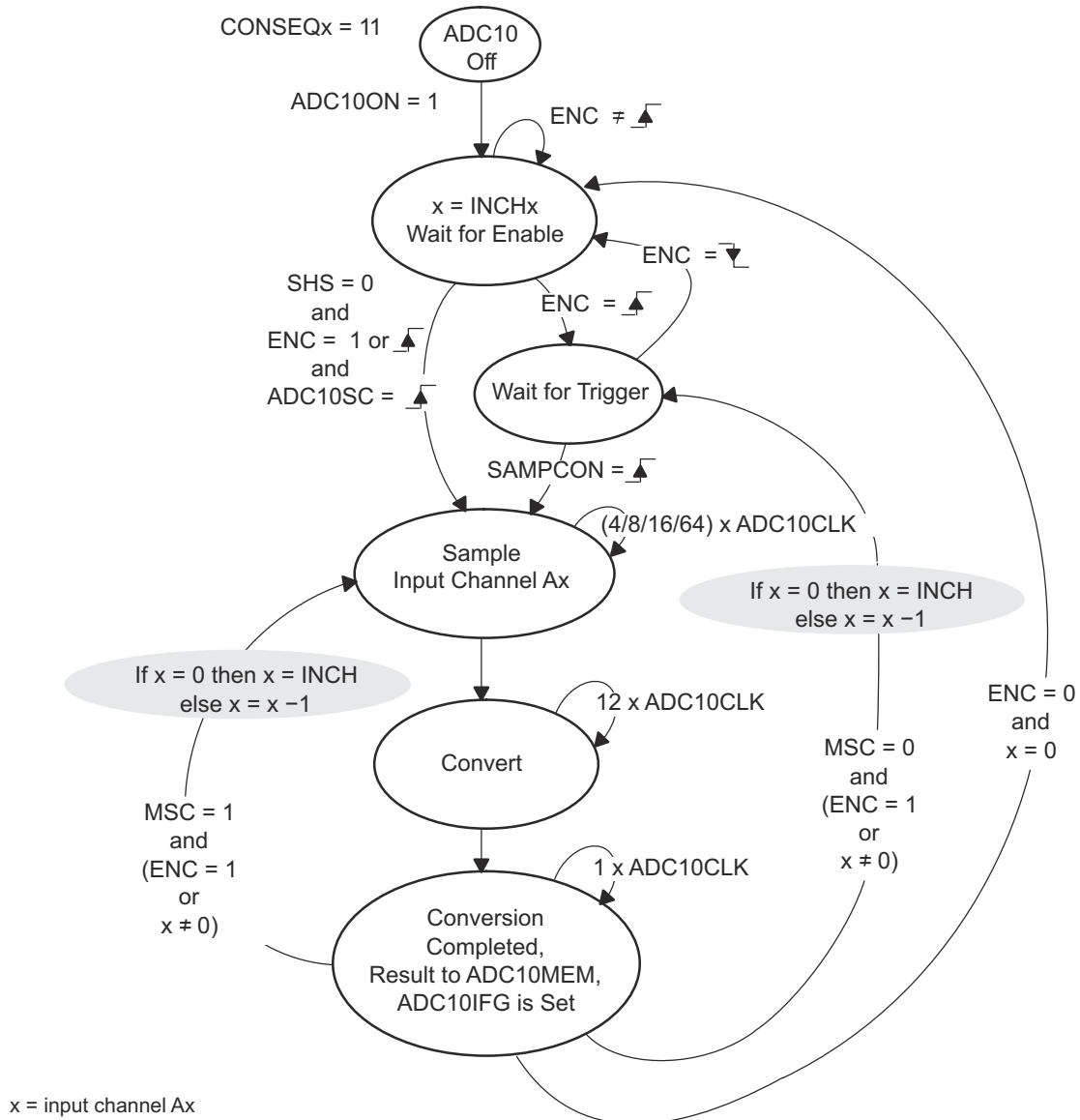


图 22-8. 通道的重复序列模式

22.2.6.5 使用 MSC 位

为配置转换器尽快自动执行连续转换，可以使用多重采样和转换功能。当 $MSC = 1$ 且 $CONSEQx > 0$ 时，SHI 信号的第一个上升沿触发第一次转换。前面的转换一旦完成，则立即自动触发相继的转换。SHI 上的其他上升沿将被忽略，直到序列在单序列模式下完成，或者直到 ENC 位在重复单通道或重复序列模式下切换。当使用 MSC 位时，ENC 位的功能不能更改。

22.2.6.6 停止转换

停止 ADC10 活动取决于运行模式。建议的停止一个活动转换或转换序列的方法是：

- 在单通道单转换模式中复位 ENC 可以立即停止一个转换并且结果是不可预知的。若要获得正确的结果，请在清除 ENC 之前轮询 ADC10BUSY 位，直到复位。
- 在单通道重复运行期间复位 ENC 可以在当前转换结束时停止转换。
- 在序列或重复序列模式期间复位 ENC 会在序列结束时停止转换器。
- 通过设置 $CONSEQx = 0$ 并复位 ENC 位，可以立即停止任何转换模式。转换数据不可信。

22.2.7 ADC10 数据传输控制器

ADC10 包含一个数据传输控制器 (DTC)，可自动将转换结果从 ADC10MEM 传输到其他片上存储器位置。通过将 ADC10DTC1 寄存器设置为非零值来启用 DTC。

启用 DTC 后，每次 ADC10 完成转换并将结果加载到 ADC10MEM 时，都会触发一次数据传输。在传输预定义数量的转换数据之前，无需软件干预即可管理 ADC10。每个 DTC 传输都需要一个 CPU MCLK。为避免在 DTC 传输期间发生任何总线争用，在传输所需的一个 MCLK 周期内停止 CPU (如果处于活动状态)。

在 ADC10 占用期间，不应启动一个 DTC 传输器。软件必须确保在配置 DTC 时没有正在进行的转换或序列：

```

; ADC10 activity test
      BIC.W   #ENC, &ADC10CTL0   ;
busy_test BIT.W   #BUSY, &ADC10CTL1 ;
      JNZ    busy_test          ;
      MOV.W  #xxx, &ADC10SA      ; Safe
      MOV.B  #xx, &ADC10DTC1    ;
; continue setup

```

22.2.7.1 一个数据块传输模式

如果 ADC10TB 被复位，那么一个块传输模式将会被选用。ADC10DTC1 中的值 n 定义了一个块的总传输次数。使用 16 位寄存器 ADC10SA 在 MSP430 地址范围中的任何位置定义块起始地址。块在 ADC10SA + 2n - 2 处结束。图 22-9 展示了单块传输模式。

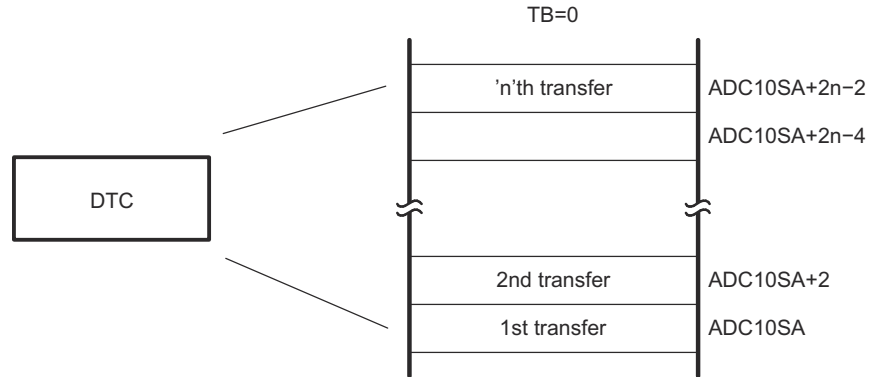


图 22-9. 一个块传输

内部地址指针最初等于 ADC10SA，内部传输计数器最初等于“n”。内部指针和计数器对软件是不可见的。DTC 将 ADC10MEM 的字值传输到地址指针 ADC10SA。在每次 DTC 传输之后，内部地址指针递增二，内部传输计数器递减一。

DTC 传输随着 ADC10MEM 的每次加载而继续，直到内部传输计数器变为零。直到一个值被写入 ADC10SA，DTC 才会停止其他的数据传递。在单块模式下使用 DTC 时，仅在传输完整个块后设置 ADC10IFG 标志。图 22-10 显示了一个块模式的状态图表。

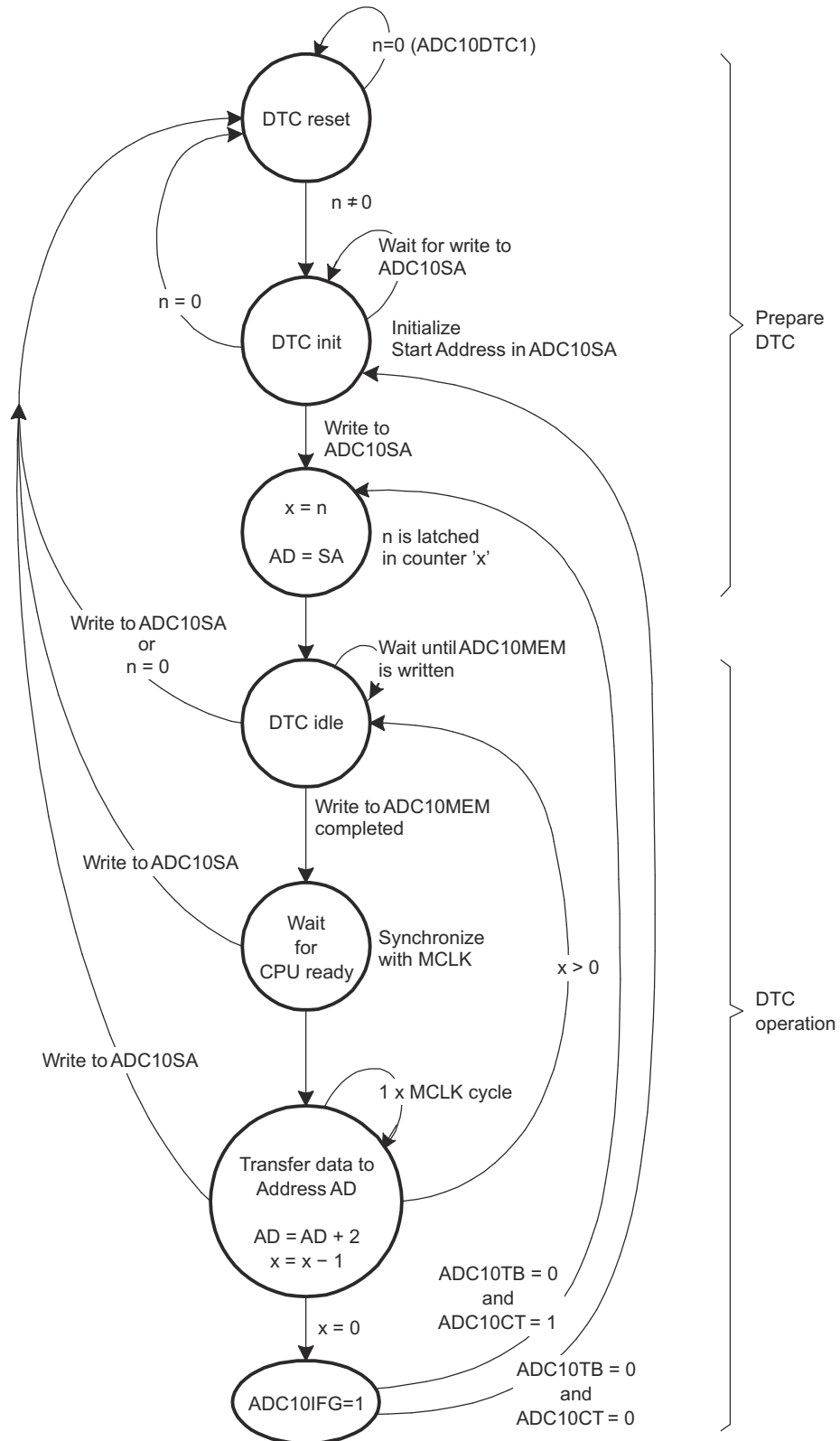


图 22-10. 单块传输模式下数据传输控制的状态图

22.2.7.2 两个块传输模式

如果 ADC10TB 被设置，那么两个块传输模式将会被选用。ADC10DTC1 中的值 n 定义了一个块的传输次数。第一个块的地址范围使用 16 位寄存器 ADC10SA 定义在 MSP430 地址范围中的任何位置。第一个块在 $ADC10SA+2n-2$ 处结束。第二个块的地址范围被定义为 $SA+2n$ 到 $SA+4n-2$ 。图 22-11 展示了两块传输模式。

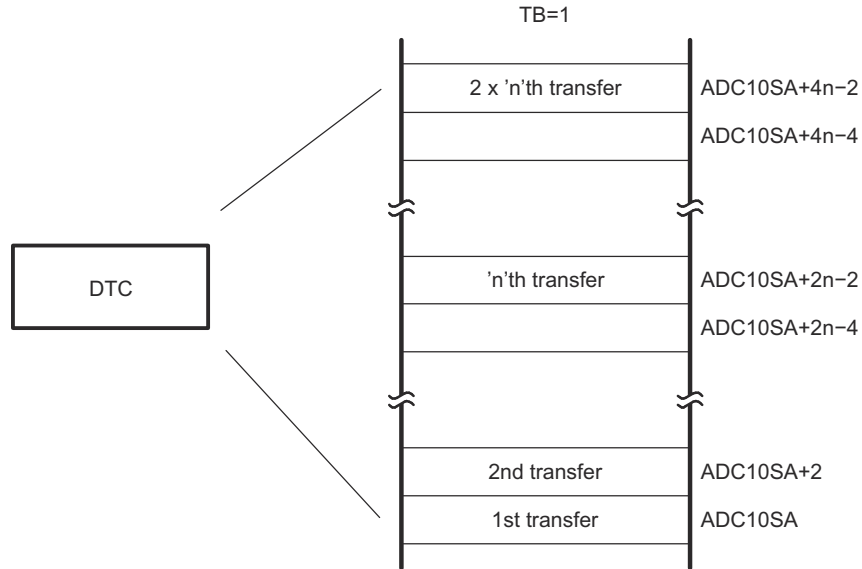


图 22-11. 两个块传输

内部地址指针最初等于 $ADC10SA$ ，内部传输计数器最初等于“ n ”。内部指针和计数器对软件是不可见的。DTC 将 $ADC10MEM$ 的字值传输到地址指针 $ADC10SA$ 。在每次 DTC 传输之后，内部地址指针递增二，内部传输计数器递减一。

DTC 传输随着 $ADC10MEM$ 的每次加载而继续，直到内部传输计数器变为零。此时块一已满，会设置 $ADC10IFG$ 标志位和 $ADC10B1$ 位。用户可以测试 $ADC10B1$ 位以确定块一是否已满。

DTC 继续传递块 2。内部传输计数器会自动重新加载“ n ”。在下一次加载 $ADC10MEM$ 时，DTC 开始将转换结果传输到块二。完成 n 次传递后，块 2 被装满。会设置 $ADC10IFG$ 标志并清除 $ADC10B1$ 位。用户软件可以测试已清除的 $ADC10B1$ 位以确定块二是否已满。图 22-12 显示了两个块模式的状态图表。

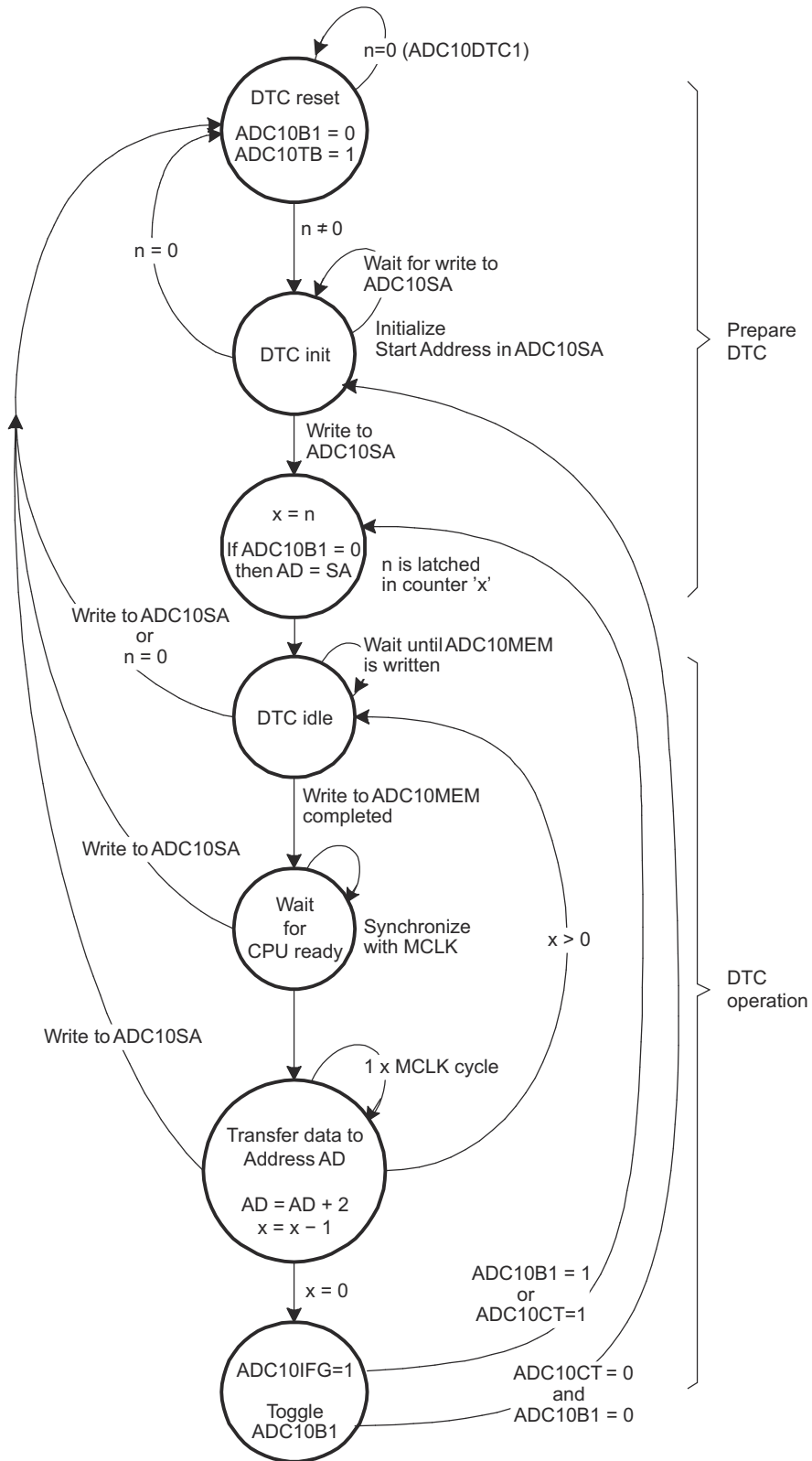


图 22-12. 两块传输模式下数据传输控制的状态图

22.2.7.3 连续传输

如果 ADC10CT 被设置，那么连续传输模式将会被选用。在传输块一（一块模式）或块二（两块模式）之后，DTC 不停止。内部地址指针和传输计数器分别设置为等于 ADC10SA 和 n。传输继续从块一开始。如果 ADC10CT 位复位，则在当前向块一（一块模式）或块二（两块模式）的传输完成后，DTC 传输停止。

22.2.7.4 DTC 传输周期时间

对于每次 ADC10MEM 传输，DTC 需要一个或两个 MCLK 时钟周期来实现同步，一个周期用于实际传输（此时 CPU 停止），一个周期用于等待时间。DTC 使用的是 MCLK，因此 DTC 周期时间取决于 MSP430 工作模式和时钟系统设置。

如果 MCLK 源处于活动状态但 CPU 处于关闭状态，则 DTC 将 MCLK 源用于每次传输，而不重新启用 CPU。如果 MCLK 源关闭，则 DTC 仅在传输期间临时重新启动以 DCOCLK 为源的 MCLK。CPU 保持关闭，在 DTC 传输后 MCLK 再次关闭。在所有工作模式下的最大 DTC 周期时间如表 22-2 所示。

表 22-2. 最大 DTC 周期时间

CPU 运行模式	时钟源	最大 DTC 周期时间
激活模式	MCLK=DCOCLK	3 个 MCLK 周期
激活模式	MCLK=LFXT1CLK	3 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM0/1	MCLK=DCOCLK	4 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM3/4	MCLK=DCOCLK	4 个 MCLK 周期 + 2 μ s ⁽¹⁾
低功耗模式 LPM0/1	MCLK=LFXT1CLK	4 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM3	MCLK=LFXT1CLK	4 个 MCLK 周期
低功耗模式 LPM4	MCLK=LFXT1CLK	4 个 MCLK 周期 + 2 μ s ⁽¹⁾

(1) 额外的 2 μ s 被用于启动 DCOCLK。详细参数请参阅《器件专用数据表》。

22.2.8 使用集成温度传感器

想要使用片上温度传感器，应选择模拟输入通道 INCHx=1010。任何其他配置都如同选择了外部通道一样完成，包括基准选择和转换存储器选择。

典型的温度传感器传递功能如图 22-13 所示。当使用温度传感器时，采样周期必须大于 30 μ s。温度传感器偏置误差比较大。在应用中导出绝对温度值需要校准。参数请参阅《器件专用数据表》。有关校准公式，请参阅节 24.2.2.1。

选择温度传感器会自动打开片上作为温度传感器的一个电压源的基准电平发生器。然而，对于转换，它不会使能 V_{REF+} 输出或影响基准电平的选择。用于转换温度传感器的基准电压的选择与其它通道一样。

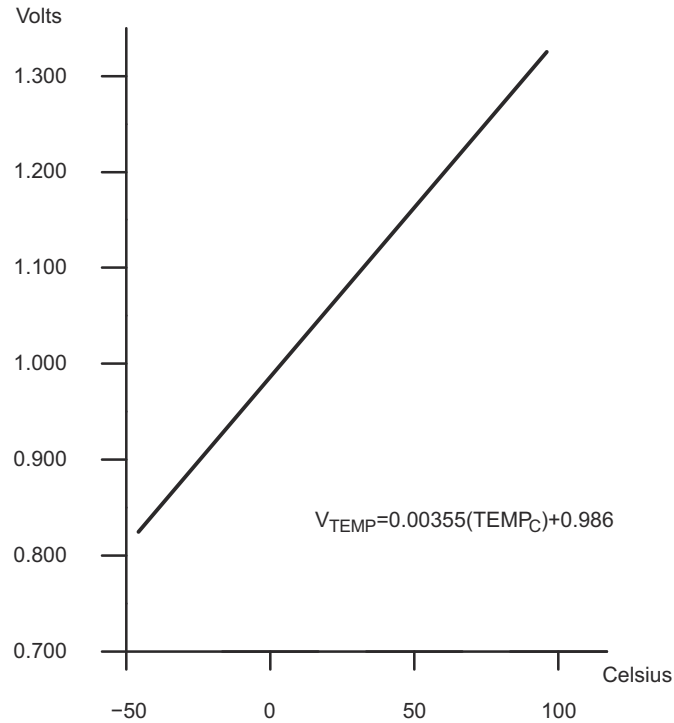


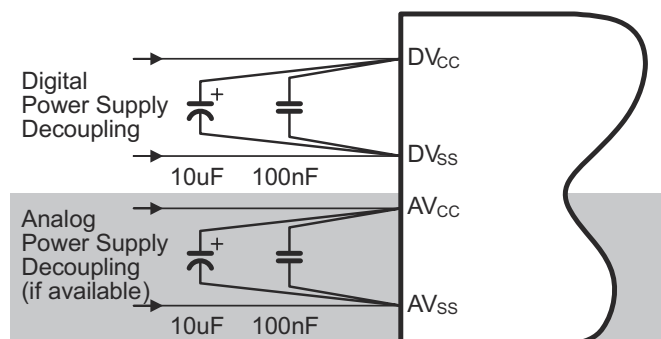
图 22-13. 典型的温度传感器传输功能

22.2.9 ADC10 接地和噪声注意事项

就像高分辨率的 ADC，为了消除地电流环路，有害的寄生效应和噪声，应遵循合理的印刷电路板布局和接地技术。

当 A/D 中的回路电流流经其他模拟或数字电路的公共回路时，就会形成地电流环路。如果不小心，该电流可能会产生不需要的较小失调电压，这些失调电压会增大或减小模数转换器的基准电压或输入电压。图 22-14 和图 22-15 所示的连接方法可以避免这些。

除了接地，由于切换数字或切换电源会在电源线路上产生纹波和噪声脉冲，这也会影响转换的结果。无噪声设计对于实现高精度而言非常重要。


 图 22-14. ADC10 接地和噪声注意事项 (内部 V_{REF})

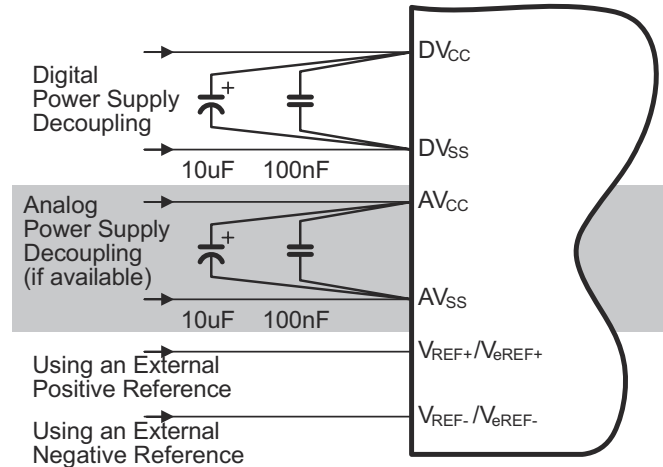


图 22-15. ADC10 接地和噪声注意事项 (外部 V_{REF})

22.2.10 ADC10 中断

与 ADC10 相关的一个中断和一个中断向量如图 22-16 所示。当不使用 DTC ($ADC10DTC1 = 0$) 时，会在转换结果加载至 ADC10MEM 时设置 ADC10IFG。如果使用 DTC ($ADC10DTC1 > 0$)，则会在块传输完成且内部传输计数器 $n = 0$ 时设置 ADC10IFG。如果设置了 ADC10IE 和 GIE 位，则 ADC10IFG 标志会产生一个中断请求。为中断请求提供服务后，ADC10IFG 标志会自动复位，也可以由软件将其复位。

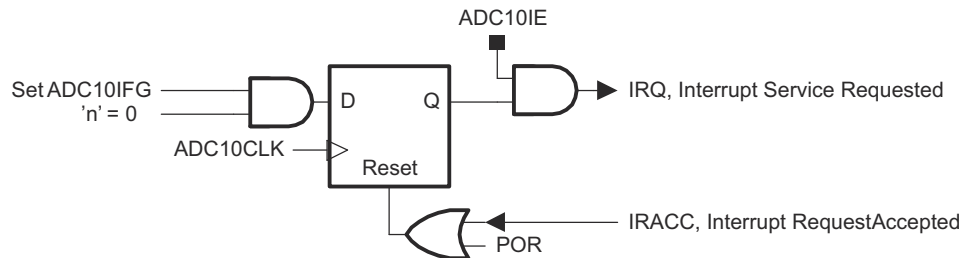


图 22-16. ADC10 中断系统

22.3 ADC10 寄存器

表 22-3 列出了 ADC10 的存储器映射寄存器。

表 22-3. ADC10 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
1B0h	ADC10CTL0	ADC10 控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.2
1B2h	ADC10CTL1	ADC10 控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.3
4Ah	ADC10AE0	ADC10 输入使能 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.4
4Bh	ADC10AE1	ADC10 输入使能 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.5
1B4h	ADC10MEM	ADC10 存储器	读取	未更改	节 22.3.6
48h	ADC10DTC0	ADC10 数据传输控制 0	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.7
49h	ADC10DTC1	ADC10 数据传输控制 1	读取/写入	POR 后为 00h	节 22.3.8
1BCh	ADC10SA	ADC10 数据传输起始地址	读取/写入	POR 后为 200h	节 22.3.9

22.3.1 ADC10CTL0 寄存器

ADC10 控制 0 寄存器

图 22-17 展示了 ADC10CTL0，表 22-4 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

ADC10 控制寄存器 0

图 22-17. ADC10CTL0 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
SREFx		ADC10SHTx		ADC10SR	REFOUT	REFBURST	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
MSC	REF2_5V	REFON	ADC10ON	ADC10IE	ADC10IFG	ENC	ADC10SC
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
仅在 ENC = 0 时可修改							

表 22-4. ADC10CTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-13	SREFx	R/W	0h	选择基准 仅在 ENC = 0 时可修改。 000b = $V_{R+} = V_{CC}$, $V_{R-} = V_{SS}$ 001b = $V_{R+} = V_{REF+}$, $V_{R-} = V_{SS}$ 010b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{SS}$ 。仅限具有 V_{eREF+} 的器件。 011b = $V_{R+} = \text{缓冲 } V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{SS}$ 。仅限具有 V_{eREF+} 引脚的器件。 100b = $V_{R+} = V_{CC}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 。仅限具有 V_{eREF-} 引脚的器件。 101b = $V_{R+} = V_{REF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 。仅限具有 V_{eREF+} 和 V_{eREF-} 引脚的器件。 110b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 。仅限具有 V_{eREF+} 和 V_{eREF-} 引脚的器件。 111b = $V_{R+} = \text{缓冲 } V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 。仅限具有 V_{eREF+} 和 V_{eREF-} 引脚的器件。
12-11	ADC10SHTx	R/W	0h	ADC10 采样保持时间。 仅在 ENC = 0 时可修改。 00b = 4 个 ADC10CLK 周期 01b = 8 个 ADC10CLK 周期 10b = 16 个 ADC10CLK 周期 11b = 64 个 ADC10CLK 周期
10	ADC10SR	R/W	0h	ADC10 采样率。 该位为最大采样率选择基准缓冲器驱动性能。设置 ADC10SR 可降低基准缓冲器的电流消耗。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 基准缓冲器支持高达约 200ksps 的采样率 1b = 基准缓冲器支持高达约 50ksps 的采样率
9	REFOUT	R/W	0h	基准输出。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 基准输出关闭 1b = 基准输出开启。仅限具有 V_{eREF+}/V_{REF+} 引脚的器件。

表 22-4. ADC10CTL0 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
8	REFBURST	R/W	0h	基准冲突。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 基准缓冲器持续打开 1b = 基准缓冲器只在采样转换期间打开
7	MSC	R/W	0h	多重采样和转换。只在序列或重复模式中有效。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 采样需要 SHI 信号的上升沿来触发每次采样转换。 1b = SHI 信号的第一个上升沿触发采样计时器，但一旦先前的转换完成，就会自动执行进一步的采样转换
6	REF2_5V	R/W	0h	基准电压产生器 REFON 也必须被置位。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 1.5 V 1b = 2.5 V
5	REFON	R/W	0h	基准发生器开启。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 基准关闭 1b = 基准打开
4	ADC10ON	R/W	0h	ADC10 开启。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = ADC10 关闭 1b = ADC10 开启
3	ADC10IE	R/W	0h	ADC10 中断使能 0b = 禁用中断 1b = 中断被启用
2	ADC10IFG	R/W	0h	ADC10 中断标志。 如果 ADC10MEM 已经装满转换结果，该位被设置。接受中断请求后，该位会自动复位，也可以由软件将其复位。使用 DTC 时，会在传输块完成时设置该标志。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	ENC	R/W	0h	使能转换 0b = 禁用 ADC10 1b = 启用 ADC10
0	ADC10SC	R/W	0h	开始转换 软件控制的采样和转换启动。可以使用一条指令同时设置 ADC10SC 和 ENC。ADC10SC 被自动复位。 0b = 无采样转换启动 1b = 启动采样和转换

22.3.2 ADC10CTL1 寄存器

ADC10 控制 1 寄存器

图 22-18 展示了 ADC10CTL1，表 22-5 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

ADC10 控制寄存器 1

图 22-18. ADC10CTL1 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
INCHx				SHSx		ADC10DF	ISSH
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC10DIVx			ADC10SSELx		CONSEQx		ADC10BUSY
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-0
仅在 ENC = 0 时可修改							

表 22-5. ADC10CTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	INCHx	R/W	0h	输入通道选择。 这些位选择用于单次转换的通道或用于转换序列的最高通道。 只有可用的 ADC 通道才会被选择。参阅特定器件的数据表。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0000b = A0 0001b = A1 0010b = A2 0011b = A3 0100b = A4 0101b = A5 0110b = A6 0111b = A7 1000b = V_{eREF+} 1001b = V_{REF}/V_{eREF-} 1010b = 温度传感器 1011b = $(V_{CC} - V_{SS})/2$ 1100b = $(V_{CC} - V_{SS})/2$ ，MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件上的 A12 1101b = $(V_{CC} - V_{SS})/2$ ，MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件上的 A13 1110b = $(V_{CC} - V_{SS})/2$ ，MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件上的 A14 1111b = $(V_{CC} - V_{SS})/2$ ，MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55 器件上的 A15
11-10	SHSx	R/W	0h	采样和保持源选择。 仅在 ENC = 0 时可修改。 00b = ADC10SC 位 01b = Timer_A.OUT1 ⁽¹⁾ 10b = Timer_A.OUT0 ⁽¹⁾ 11b = Timer_A.OUT2 (在 MSP430F20x0、MSP430G2x31 和 MSP430G2x30 器件为 Timer_A.OUT1) ⁽¹⁾

表 22-5. ADC10CTL1 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
9	ADC10DF	R/W	0h	ADC10 数据格式。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 标准二进制 1b = 二进制补码
8	ISSH	R/W	0h	反相信号采样保持。 仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 采样输入信号未反相。 1b = 采样输入信号被反相。
7-5	ADC10DIVx	R/W	0h	ADC10 时钟分频器。 仅在 ENC = 0 时可修改。 000b = /1 001b = /2 010b = /3 011b = /4 100b = /5 101b = /6 110b = /7 111b = /8
4-3	ADC10SSELx	R/W	0h	ADC10 时钟源选择。 仅在 ENC = 0 时可修改。 00b = ADC10OSC 01b = ACLK 10b = MCLK 11b = SMCLK
2-1	CONSEQx	R/W	0h	转换序列模式选择 00b = 单通道单次转换模式 01b = 通道序列模式 10b = 重复单通道模式 11b = 重复通道序列模式
0	ADC10BUSY	R	0h	ADC10 忙。 该位标志着一个有效的采样和转换操作 0b = 无操作处于活动状态。 1b = 有序列、采样或转换处于活动状态。

(1) 如果器件上存在多个计时器模块，则计时器触发来自 Timer0_Ax。

22.3.3 ADC10AE0 寄存器

ADC10 输入使能寄存器

图 22-19 展示了 ADC10AE0，表 22-6 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

模拟（输入）使能控制寄存器 0

图 22-19. ADC10AE0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC10AE0x							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 22-6. ADC10AE0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	ADC10AE0x	R/W	0h	ADC10 模拟使能。 该位为模拟输入使能相应的引脚。位 0 对应于 A0，位 1 对应于 A1，依此类推。未实现的通道的模拟使能位不应编程为 1。 0b = 禁用模拟输入 1b = 启用模拟输入

22.3.4 ADC10AE1 寄存器

ADC10 输入使能 1 寄存器

图 22-20 展示了 ADC10AE1，表 22-7 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

模拟（输入）使能控制寄存器 1（仅限 MSP430F22xx、MSP430G2x44 和 MSP430G2x55）

图 22-20. ADC10AE1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC10AE1x				保留			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 22-7. ADC10AE1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	ADC10AE1x	R/W	0h	ADC10 模拟使能。 该位为模拟输入使能相应的引脚。位 4 对应于 A12，位 5 对应于 A13，位 6 对应于 A14，位 7 对应于 A15。未实现的通道的模拟使能位不应编程为 1。 0b = 禁用模拟输入 1b = 启用模拟输入
3-0	保留	R	0h	保留

22.3.5 ADC10MEM 寄存器

ADC10 存储器寄存器

图 22-21 展示了 ADC10MEM，表 22-8 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

转换存储器寄存器。该寄存器以右对齐直接二进制格式或左对齐二进制补码格式读取，具体取决于 ADC10CTL1 寄存器中 ADC10DF 位的值。

图 22-21. ADC10MEM 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
转换结果							
r0	r0	r0	r0	r0	r0	r	r
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
转换结果							
r	r	r	r	r	r	r	r

表 22-8. ADC10MEM 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	转换结果	R	未更改	如果 ADC10DF = 0，则 10 位转换结果采用右对齐直接二进制格式。位 9 是 MSB。15-10 始终为 0。 如果 ADC10DF = 1，则 10 位转换结果采用左对齐二进制补码格式。位 15 是 MSB。位 5-0 总是 0。

22.3.6 ADC10DTC0 寄存器

ADC10 数据传输控制 0 寄存器

图 22-22 展示了 ADC10DTC0，表 22-9 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

数据传输控制寄存器 0

图 22-22. ADC10DTC0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留			ADC10TB	ADC10CT	ADC10B1	ADC10FETCH	
r0	r0	r0	r0	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)	rw-(0)

表 22-9. ADC10DTC0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	保留	R	0h	保留。始终读为 0。
3	ADC10TB	R/W	0h	ADC10 两个数据块模式 0b = 一块传输模式 1b = 两块传输模式
2	ADC10CT	R/W	0h	ADC10 连续传输 0b = 当一个块（一块模式）或两个块（两块模式）完成时，数据传输停止。 1b = 数据连续传输。仅当 ADC10CT 被清除或 ADC10SA 被写入时，DTC 操作才停止。
1	ADC10B1	R	0h	ADC 块一。 该位指示在两块模式下哪个块中填充 ADC10 转换结果。ADC10B1 仅在 DTC 操作期间第一次设置 ADC10IFG 后才有效。ADC10TB 也必须被置位。 0b = 填充块 2 1b = 填充块 1
0	ADC10FETCH	R/W	0h	该位应该被正常的复位。

22.3.7 ADC10DTC1 寄存器

ADC10 数据传输控制 1 寄存器

图 22-23 展示了 ADC10DTC1，表 22-10 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

数据传输控制寄存器 1

图 22-23. ADC10DTC1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DTC 传输							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 22-10. ADC10DTC1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	DTC 传输	R/W	0h	DTC 传输。该位定义了每个块中的传输量。 0h = 禁用 DTC 1h - FFh = 每个块的传输次数

22.3.8 ADC10SA 寄存器

ADC10 数据传输起始地址寄存器

图 22-24 展示了 ADC10SA，表 22-11 中对此进行了介绍。

返回表 22-3。

数据传输的起始地址寄存器

图 22-24. ADC10SA 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
ADC10SAx							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC10SAx							未使用
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-0

表 22-11. ADC10SA 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	描述
15-1	ADC10SAx	R/W	0h	ADC10 开始地址。 这些位是 DTC 的起始地址。需要对寄存器 ADC10SA 进行一次写入以启动 DTC 传输。
0	未使用	R	0h	未使用，只读。始终读为 0。



ADC12 模块是一个高性能的 12 位模数转换器。本章介绍了 MSP430x2xx 器件系列中的 ADC12。

23.1 ADC12 介绍	608
23.2 ADC12 的操作	610
23.3 ADC12 寄存器	622

23.1 ADC12 介绍

ADC12 模块支持快速 12 位模数转换。此模块运行一个 12 位逐次逼近 (SAR) 内核、样本选择控制、基准生成器、和一个 16 字转换和控制缓冲器。在无需 CPU 干预的情况下，转换和控制缓冲器可转换并存储多达 16 个独立的 ADC 样本。

ADC12 模块特征如下：

- 大于 200ksps 的最大转换速率
- 单片的 12 位转换器无失码
- 由软件或定时器控制的可编程采样周期的采样保持
- 由软件，定时器_A，或定时器_B 启动的转换
- 软件可选片上基准电压生成 (1.5V 或 2.5 V)
- 软件可选内部或外部基准
- 8 个可单独配置的外部输入通道
- 内部温度传感器的转换通道，AV_{CC}，和外部基准电压
- 独立的通道可选基准位自正和负基准供源
- 可选的转换时钟源
- 单信道、重复单信道、序列、和重复序列的转换模式
- ADC 内核和基准电压都可以独立断电
- ADC 中断的快速解码的 18 位中断矢量寄存器
- 16 转换结果存储寄存器

ADC12 模块的方框图如图 23-1 所示。

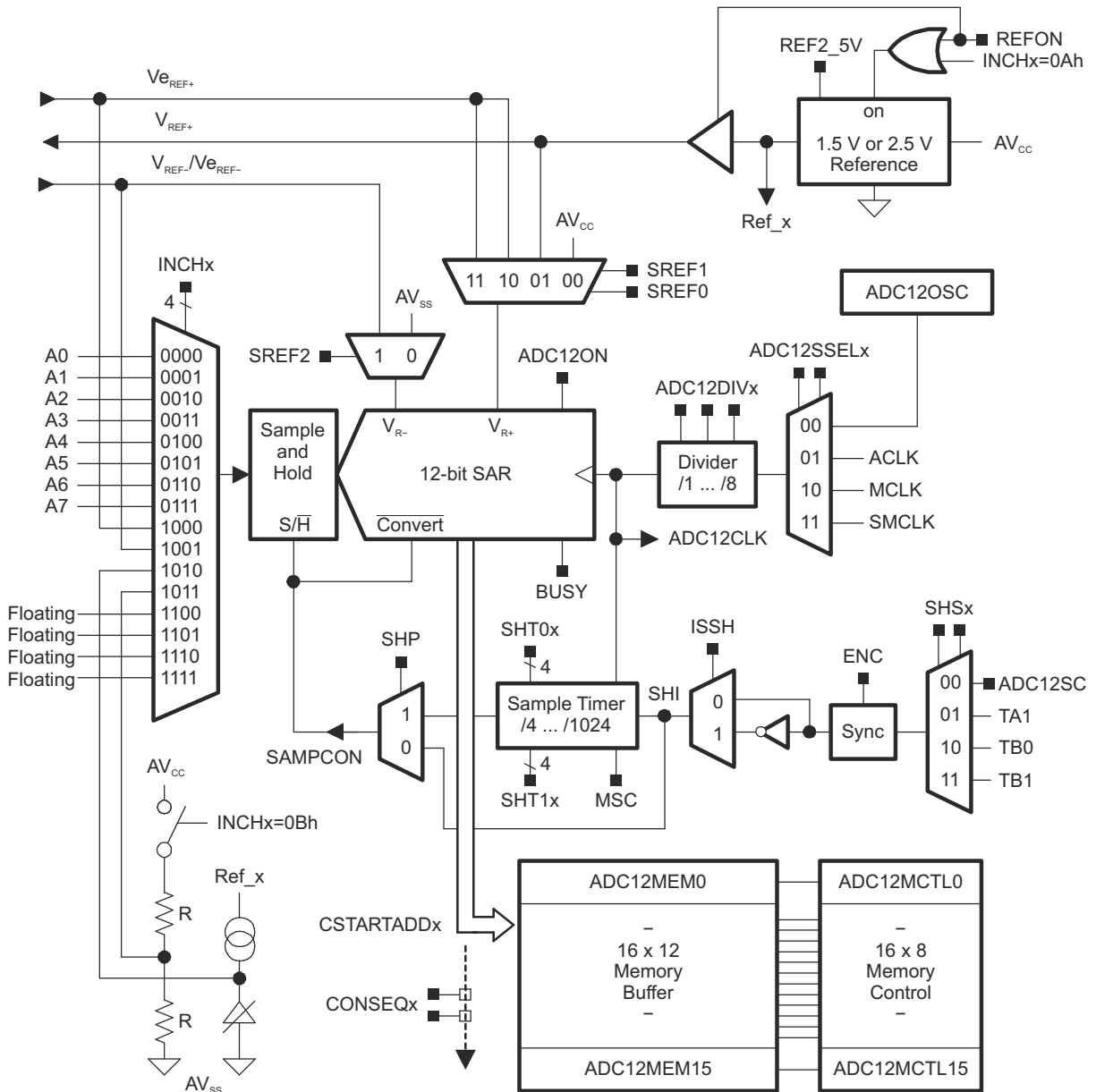


图 23-1. ADC12 方框图

23.2 ADC12 的操作

ADC12 模块可由用户软件配置。ADC12 的运行和建立在下列章节中进行讨论。

23.2.1 12 位 ADC 内核

ADC 内核将一个模拟量的输入转化成 12 位数字形式，结果保存在转换存储器中。内核利用两个可编程/可选的基准电压 (V_{R+} 和 V_{R-}) 来定义转换范围的最大值和最小值。当输入信号等于或高于 V_{R+} 时，数字输出 (N_{ADC}) 为满量程 (0FFFh)，当输入信号等于或低于 V_{R-} 时，输出为零。输入通道和基准电平 (V_{R+} 和 V_{R-}) 在转换控制寄存器中进行了定义。ADC 结果的换算公式 N_{ADC} 是：

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{IN} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$$

ADC12 内核由 ADC12CTL0 和 ADC12CTL1 两个控制寄存器完成配置。内核使能由 ADC12ON 位控制。为了节省电力，可以在不使用时关闭 ADC12。在大多数情况下，只有当 $ENC = 0$ 时才能修改 ADC12 控制位。在进行任何转换前 ENC 位必须设为 1。

23.2.1.1 转换时钟选择

该 ADC12CLK 被用作转换时钟并在采样模式被选择时产生脉冲采样周期。ADC12 源时钟可以用 ADC12SSELX 位来选择，且可以用 ADC12DIVx 位进行 1 至 8 分频。可选的 ADC12CLK 源有 SMCLK, MCLK, ACLK 和一个内的振荡器 ADC12OSC。

ADC12OSC 由内部产生，且位于 5MHz 范围内，但频率会随个别器件，电源电压，和温度而不同。对于 ADC12OSC 技术规格，请参阅《器件专用数据表》。

应用程序必须保证在一个转换结束前为 ADC12CLK 所选的时钟都保持在活动状态。如果在一个转换期间时钟被移除，那么转换将无法完成且结果无效。

23.2.2 ADC12 输入和多路复用器

模拟输入多路复用器可以选择 8 个外部和 4 个内部模拟信号接口作为转换通道。输入模拟多路复用器是先关后开型开关以此来减少因通道切换而引入的噪声 (见 图 23-2)。输入模拟多路复用器也是一个 T 型开关，可以减少通道间的耦合。未选择的通道与 A/D 分开，并且中间接点被连接到模拟接地 (AV_{SS}) 端以便于寄生电容接地从而减少噪声。

ADC12 利用电荷再分配原理。当输入在内部切换时，切换动作可能在输入信号上引起瞬变。这些瞬变衰减和解决之前会导致错误的转换。

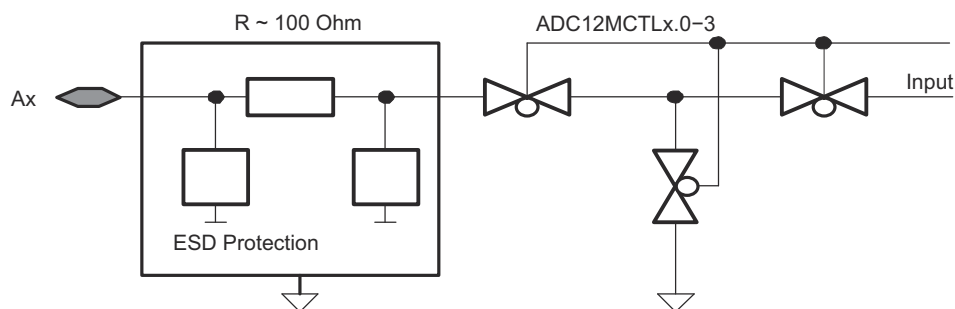


图 23-2. 模拟多路复用器

23.2.2.1 模拟端口选择

ADC12 输入是与端口 P6 引脚复用的，其中该引脚是数字 CMOS 门。当模拟信号被应用到数字 CMOS 门时，寄生电流可以从 VCC 流向 GND。如果输入电压接近该门的转换电平时，就会产生寄生电流。禁用端口引脚缓冲器防止了寄生电流流过，因此，可降低总电流消耗。P6SELx 位提供了禁用端口引脚的输入和输出缓冲器的功能。

```
; P6.0 and P6.1 configured for analog input
BIS.B #3h,&P6SEL ; P6.1 and P6.0 ADC12 function
```

23.2.3 基准电压发生器

ADC12 模块包含一个内置电压基准，具有两个可选电压电平，即 1.5V 和 2.5V。这些基准电压中的任何一个都可以在引脚 V_{REF+} 上在内部和外部使用。

设置 REFON=1 使能内部基准。当 REF2_5V=1 时，内部基准电压为 2.5V。当 REF2_5V=0 时，基准电压为 1.5V。为了节省电能，可在不使用时关闭基准电压。

为了正常运行，内部基准电压发生器必须由 V_{REF+} 和 AV_{SS} 上的存储电容供电。建议的存储电容是 10μF 和 0.1μF 电容器的并联组合。从开启开始，基准电压发生器必须允许最长 17ms 的时间来偏置建议的存储电容器。如果内部基准发生器还没有用于该转换，则不需要存储电容器。

备注

基准解耦

在一个转换期间，当正在解决两个 LSB 时 ADC12 使用的任何基准电压中都需要大约 200 μA。建议为任何基准电压连接一个 10 μF 和 0.1 μF 电容的并联组合，如在图 23-11 中所示。

可分别通过引脚 V_{eREF+} 和 V_{REF-/V_{eREF-}} 为 V_{R+} 和 V_{R-} 提供外部基准。

23.2.4 采样和转换时序

一个数模转换是由一个采样输入信号 SHI 的上升沿启动。SHI 信号源可以通过 SHSx 位来选择，包括如下：

- ADC12SC 位
- 定时器_A 输出单元 1
- 定时器_B 输出单元 0
- 定时器_B 输出单元 1

SHI 信号源的极性可以通过 ISSH 位来反转。SAMPCON 信号控制转换的采样周期的开始。当 SAMPCON 为高电平时，采样是有效的。高至低 SAMPCON 过渡起始了模数转换，这需要 13 个 ADC12CLK 周期。两种不同的采样定时方法是控制位 SHP，扩展的采样模式和脉冲模式定义。

23.2.4.1 扩展采样模式

当 $SHP = 0$ 时会选择扩展采样模式。SHI 信号直接控制 $SAMPCON$ 并定义采样周期 $t_{\text{采样}}$ 的长度。当 $SAMPCON$ 为高电平时，采样是有效的。在与 $ADC12CLK$ 同步后，高至低 $SAMPCON$ 过渡起始了该转换（请参见图 23-3）。

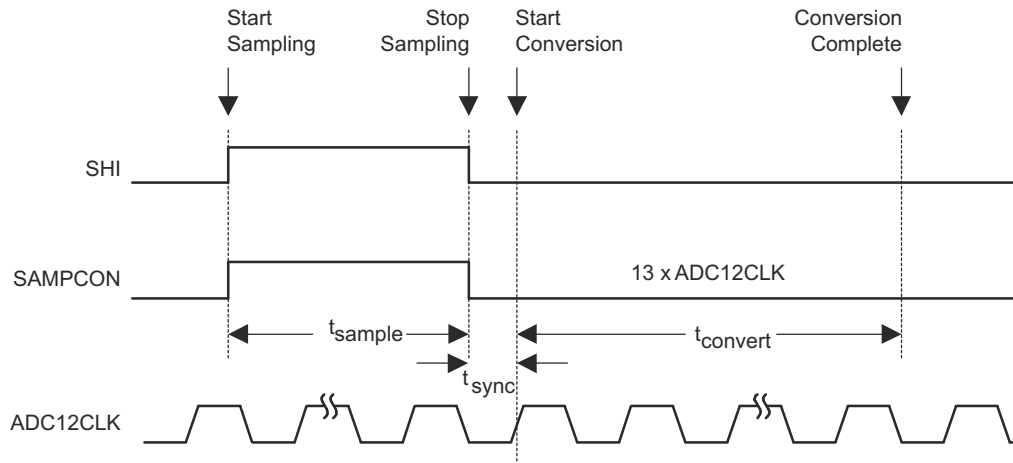


图 23-3. 扩展的采样模式

23.2.4.2 脉冲采样模式

当 $SHP = 1$ 时会选择脉冲采样模式。SHI 信号用于触发采样定时器。ADC12CTL0 中的 $SHT0x$ 和 $SHT1x$ 位控制采样定时器的时间间隔的，该定时器定义 $SAMPCON$ 的采样周期 $t_{\text{采样}}$ 。在一个可编程时间间隔 $T_{\text{采样}}$ 与 $AD12CLK$ 同步后，采样定时器保持 $SAMPCON$ 为高电平。总的采样时间为 $t_{\text{采样}}$ 加上 $t_{\text{同步}}$ （请参见图 23-4）。

$SHTx$ 位选择 $ADC12CLK$ 的 4 倍采样时间。 $SHT0x$ 为 $ADC12MCTL0$ 至 7 选择采样时间且 $SHT1x$ 为 $ADC12MCTL8$ 至 15 选择采样时间。

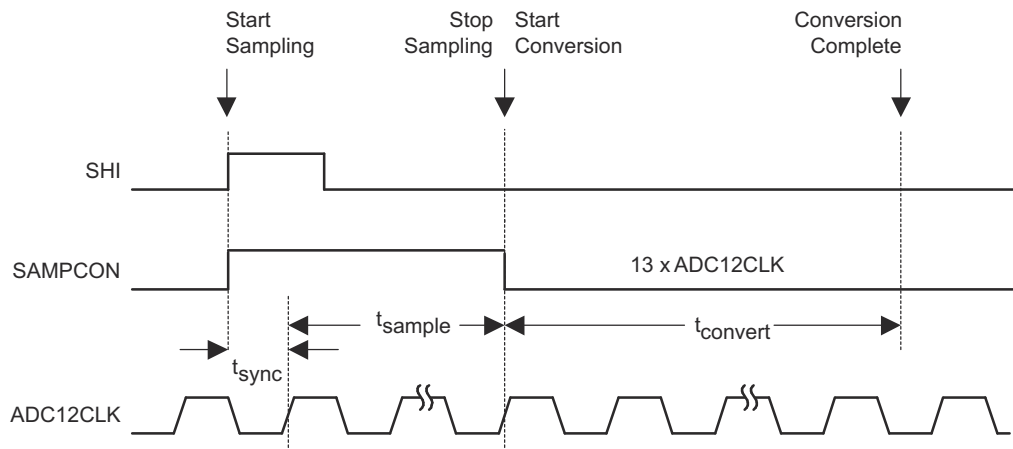


图 23-4. 脉冲采样模式

23.2.4.3 采样时序转换

当 $SAMPCON = 0$ 时，所有的 Ax 输入均为高阻态。当 $SAMPCON = 1$ 时，选定的 Ax 输入可以在采样时间 t_{sample} 期间建模为 RC 低通滤波器，如图 23-5 所示。一个内部 MUX 上输入电阻 R_I (最大 $2k\Omega$) 被认为是由源极和电容器 C_I (最大 $40pF$) 串连在一起。电容器 C_I 电压 (V_C 必须被充电至电源电压 (V_S) 的 $\frac{1}{2}$ LSB 范围内，以此来精度为 12 位的转换。

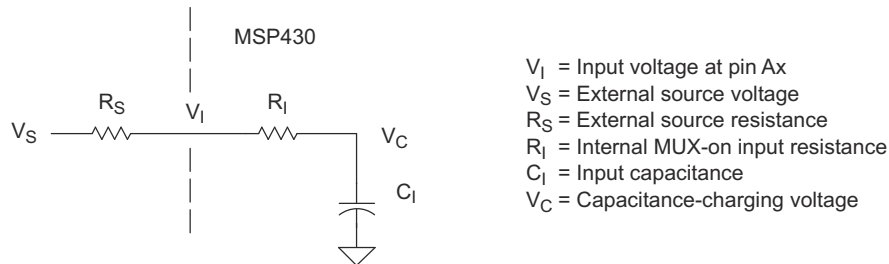


图 23-5. 模拟输入等效电路

源 R_S 和 R_I 电阻影响采样。可以用下面的公式来计算 12 位转换的最小采样时间 $t_{采样}$ ：

$$t_{采样} > (R_S + R_I) \times \ln(2^{13}) \times C_I + 800 \text{ ns}$$

R_I 和 C_I 的代入值在上面已经给出，公式变为：

$$t_{采样} > (R_S + 2 \text{ k}\Omega) \times 9.011 \times 40 \text{ pF} + 800 \text{ ns}$$

例如，如果 R_S 是 $10k\Omega$ ，那么 $t_{采样}$ 必须大于 $5.13\mu s$ 。

23.2.5 转换存储器

有 16 个 $ADC12MEMx$ 转换内存寄存器用于存储转换结果。每个 $ADC12MEMx$ 都用一个相关的 $ADC12MCTLx$ 控制寄存器配置。 $SREFx$ 位定义电压基准， $INCHx$ 位选择输入通道。当使用顺序转换模式时， EOS 位定义序列末端。当 $ADC12MCTL15$ 中的 EOS 没被置位时，一个序列从 $ADC12MEM15$ 翻转到 $ADC12MEM0$ 。

$CSTARTADDx$ 位定义用于任何转换的第一个 $ADC12MCTLx$ 。如果转换模式是单通道或重复单通道，那么 $CSTARTADDx$ 会指向要使用的单 $ADC12MCTLx$ 。

如果所选择的转换模式是序列通道或重复序列通道中一个， $CSTARTADDx$ 会指向在一个序列中第一个被使用到的 $ADC12MCTLx$ 的位置。一个指针，对软件不可见，当每次转换完成时，会自动递增至序列中的下一个 $ADC12MCTLx$ 。序列继续进行直到 $ADC12MCTLx$ 中的 EOS 位被处理；这是最后一个被处理的控制字节。

当转换结果被写入一个选定的 $ADC12MEMx$ 中时，在 $ADC12IFGx$ 寄存器中的相应标志被置位。

23.2.6 ADC12 转换模式

ADC12 有四个可由 $CONSEQx$ 位选择的运行模式，在表 23-1 中给出了这些模式。

表 23-1. 转换模式概述

CONSEQx	模式	运行
00	单通道单次转换	一个单通道被转换一次
01	通道序列	一个通道序列被转换一次
10	单通道重复	一个单通道被重复转换
11	序列通道重复	一个通道序列被重复转换

23.2.6.1 单通道单次转换模式

一个单通道被采样和转换一次 ADC 结果写入由 $CSTARTADDx$ 位定义的 $ADC12MEMx$ 。图 23-6 显示了单通道单次转换模式的流程。当 $ADC12SC$ 触发一次转换时，连续的转换可有 $ADC12SC$ 位来触发。当使用任何其它触发源时， ENC 必须在每次转换间被切换。

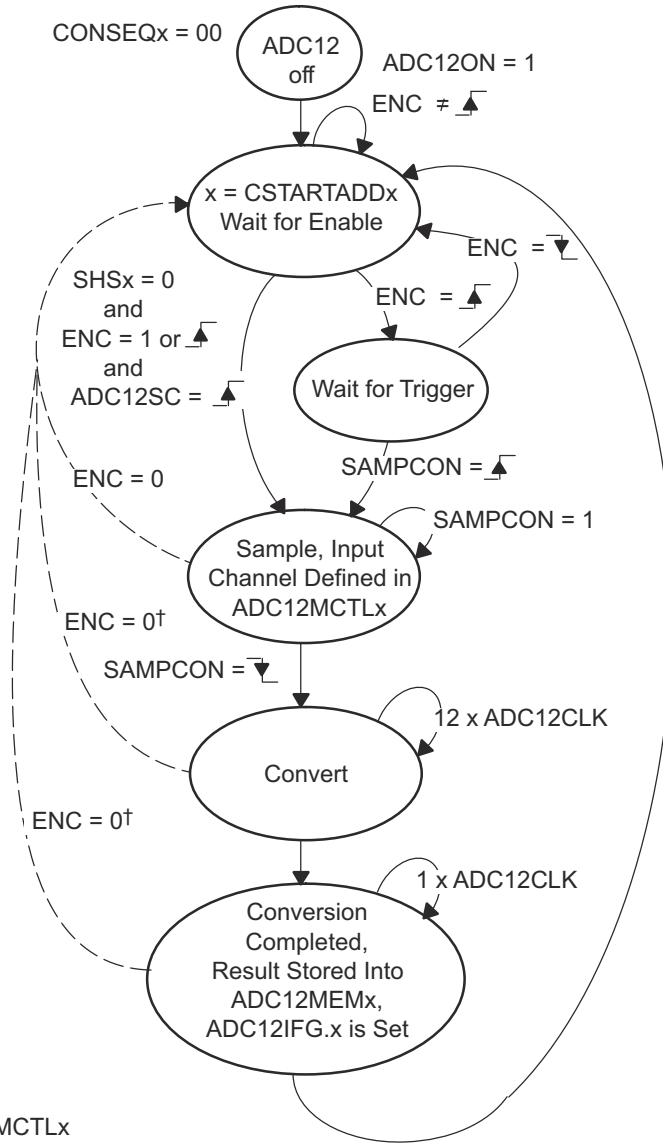


图 23-6. 单通道，单次转换模式

23.2.6.2 通道序列模式

一个通道序列被采样和转换一次 ADC 的结果被写入用 ADCMEMx 起始的转换存储器中，其中 ADCMEMx 由 CSTARTADDx 位定义。该序列在使用设置的 EOS 位测量通道后停止。图 23-7 显示了通道序列模式。当 ADC12SC 触发一个序列时，连续的序列可由 ADC12SC 位来触发。当使用任何其它触发源时，ENC 必须在每个序列间被切换。

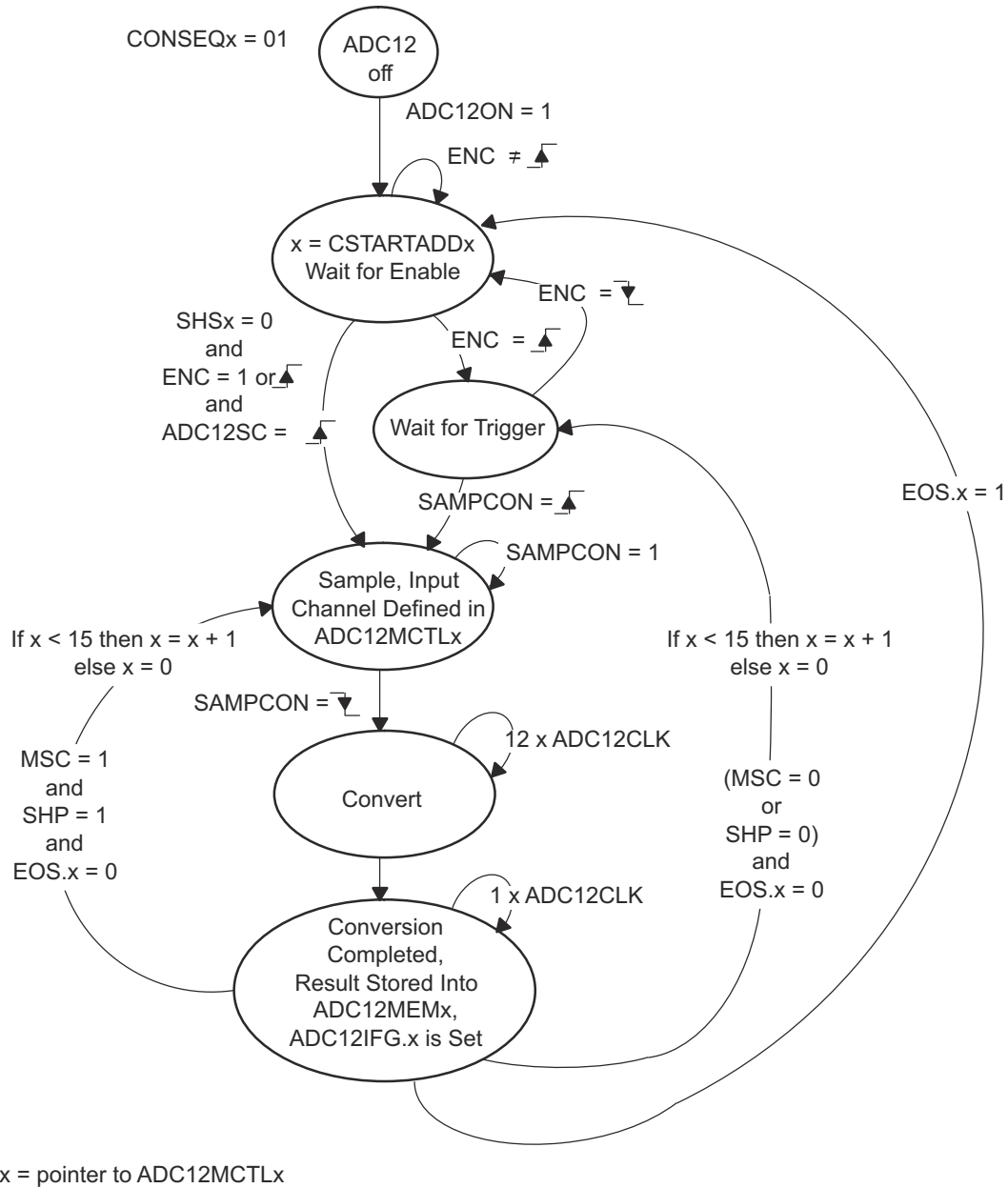


图 23-7. 通道序列模式

23.2.6.3 单通道重复模式

一个单通道被连续采样和转换。ADC 结果被写入由 CSTARTADDx 位定义的 ADC12MEMx 中。完成转换后需要读取结果，因为只使用了一个 ADC12MEMx 存储器，并且该存储器会被下一次转换覆盖。图 23-8 显示了单通道重复模式。

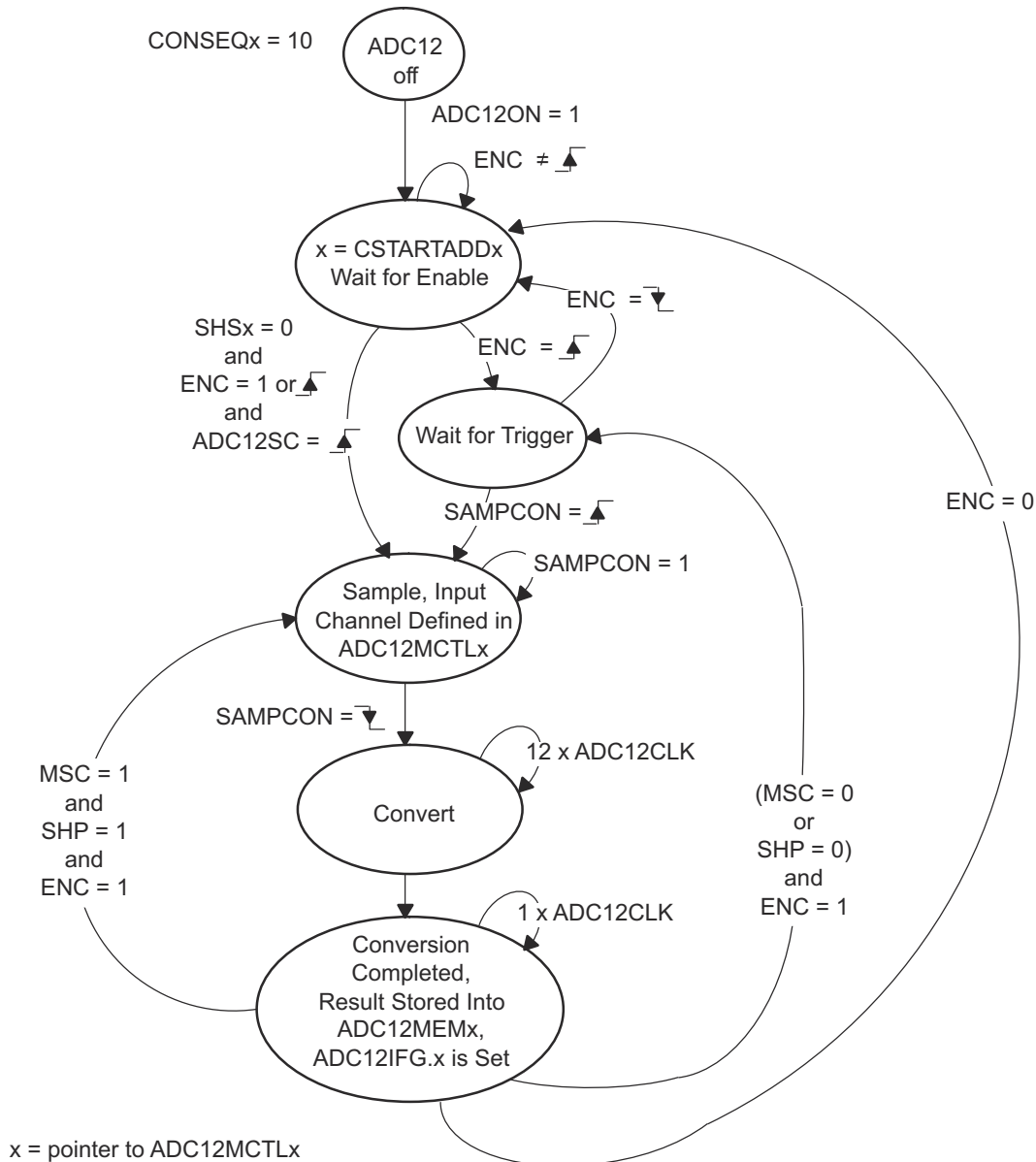


图 23-8. 单通道重复模式

23.2.6.4 通道的重复序列模式

一个通道序列被重复采样和转换。ADC 的结果被写入用 ADCMEMx 起始的转换存储器中，其中 ADCMEMx 由 CSTARTADDx 位定义。该序列在使用设置的 EOS 位测量通道后结束，下一个触发信号重新开始该序列。图 23-9 显示了通道的重复序列模式。

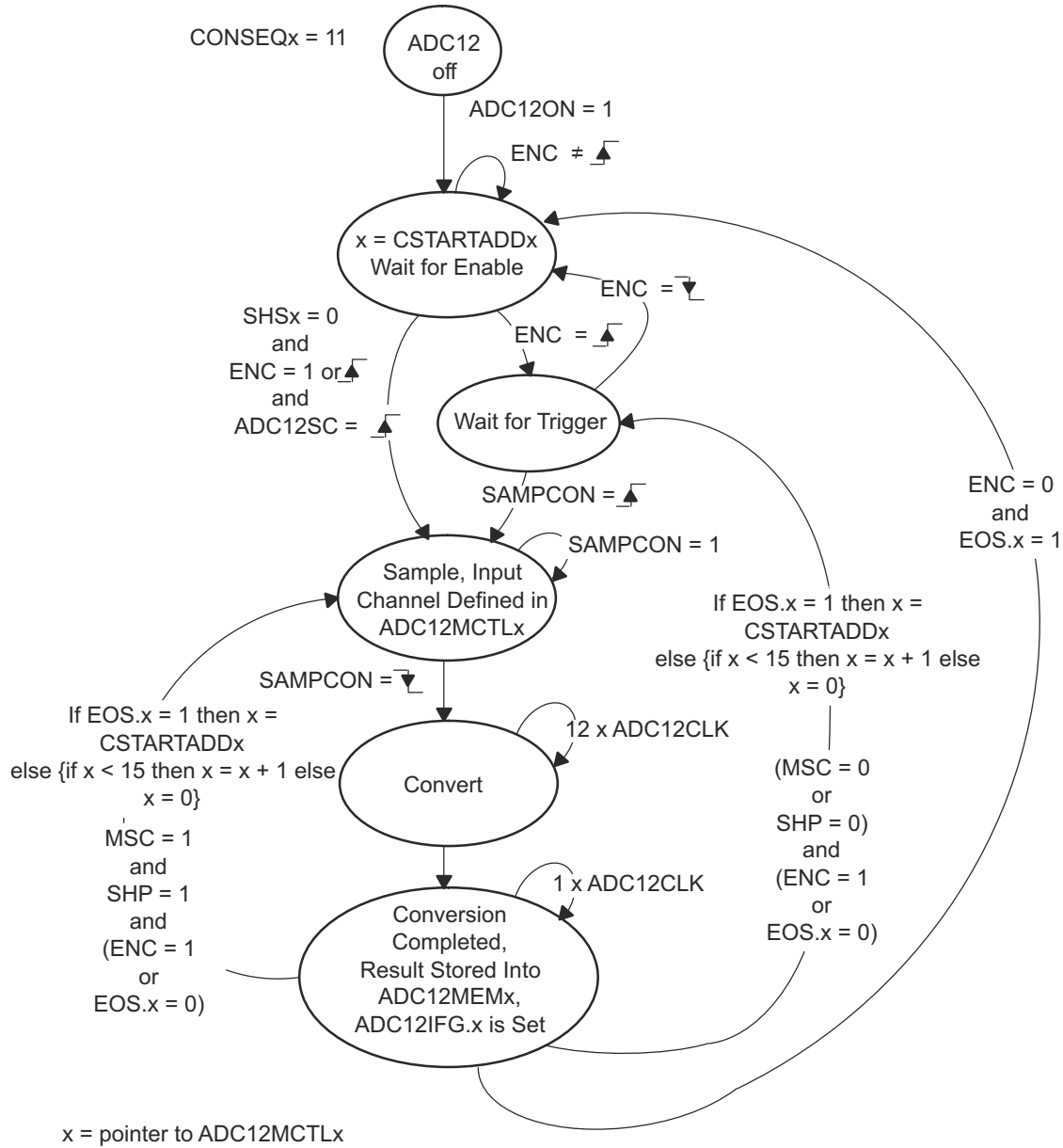


图 23-9. 通道的重复序列模式

23.2.6.5 使用多路采样和转换 (MSC) 位

为了配置转换器来使其能自动的执行连续转换并且尽可能的快速，可以使用一个多路采样和转换功能。当 $MSC=1$ ， $CONSEQx>0$ ，且使用采样定时器时，SHI 信号的第一个上升沿会触发第一个转换。转换完成前，连续转换被快速并自动的触发。在单序列模式中，序列完成前或在单通道重复模式或重复序列模式中，ENC 位被切换前，SHI 上的其他上升沿都被忽略。当使用 MSC 位时，ENC 位的功能不能更改。

23.2.6.6 停止转换

停止 ADC12 活动取决于运行模式。建议的停止一个活动转换或转换序列的方法是：

- 在单通道单转换模式中复位 ENC 可以立即停止一个转换并且结果是不可预知的。想要获得正确的结果，在清除 ENC 前应轮询忙位直到它被复位。
- 在单通道重复运行期间复位 ENC 可以在当前转换结束时停止转换。
- 在一个序列或重复序列模式器件复位 ENC 可以在序列结束时停止转换。
- 通过设置 $CONSEQx=0$ 和复位 ENC 位可以立即停止任何转换模式。在这种情况下，转换的数据是不可信的。

备注

没有为序列设置 EOS 位

如果没有 EOS 位被置位但已选序列模式，复位 ENC 位不会停止该序列。要停止该序列，首先要选择单通道模式并然后复位 ENC。

23.2.7 使用集成温度传感器

想要使用片上温度传感器，应选择模拟输入通道 $INCHx=1010$ 。就象选择一个外部通道一样完成了任何其它配置，包括基准选择和转换存储器选择。

典型的温度传感器传递功能如图 23-10 所示。当使用温度传感器时，采样周期必须大于 $30\ \mu\text{s}$ 。温度传感器的偏移误差可能会比较大，对于大多数应用程序来说都需要对其进行校准。详细参数请参阅《器件专用数据表》。关于校准公式，请参阅节 24.2.2.1。

选择温度传感器会自动打开片上作为温度传感器的一个电压源的基准电平发生器。然而，对于转换，它不会使能 V_{REF+} 输出或影响基准电平的选择。用于转换温度传感器的基准电压的选择与其它通道一样。

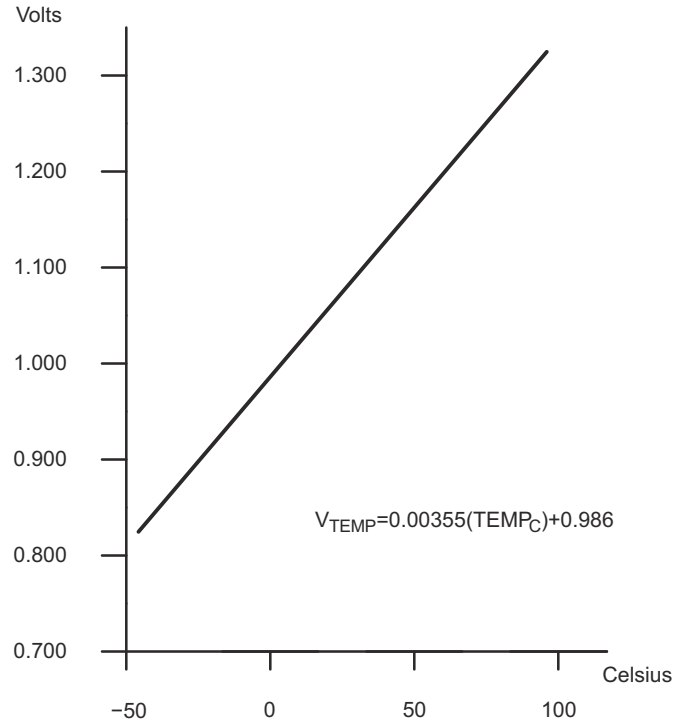


图 23-10. 典型的温度传感器传输功能

23.2.8 ADC12 接地和噪声考虑

就像高分辨率的 ADC，为了消除地电流环路，有害的寄生效应和噪声，应遵循合理的印刷电路板布局和接地技术。

当 A/D 中的回路电流流经其他模拟或数字电路的公共回路时，就会形成地电流环路。如果不小心，该电流可能会产生不需要的较小失调电压，这些失调电压会增大或减小模数转换器的基准电压或输入电压。图 23-11 中所示的连接方法可以避免这些。

除了接地，由于切换数字或切换电源会在电源线路上产生纹波和噪声脉冲，这也会影响转换的结果。为了实现高精度，推荐一个使用独立的模拟和带有一个单点连接的数字地平面的无噪音设计。

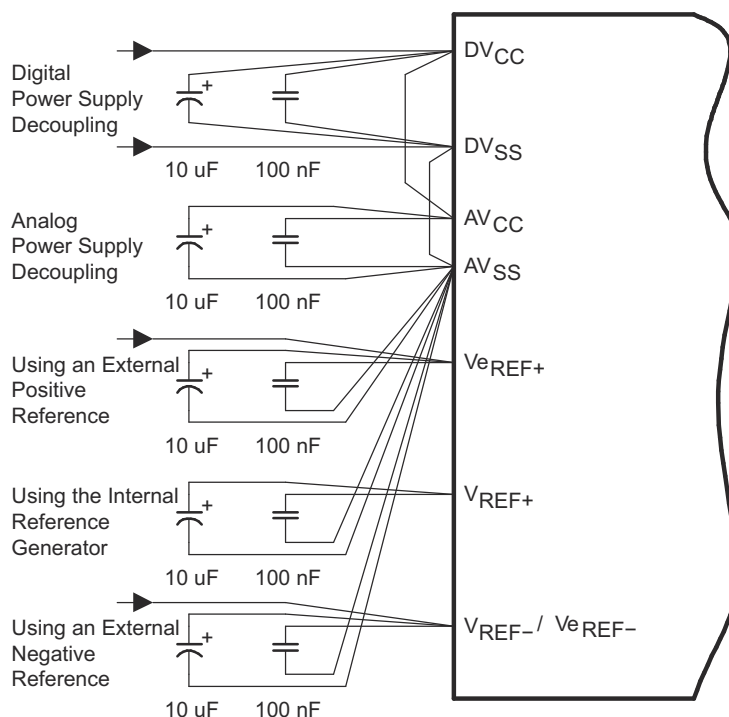


图 23-11. ADC12 接地和噪声考虑

23.2.9 ADC12 中断

ADC12 有 18 个中断源：

- ADC12IFG0 至 ADC12IFG15
- ADC12OV, ADC12MEMx 溢出
- ADC12TOV, ADC12 转换时间溢出

其相应的 ADC12MEMx 内存寄存器加载一个转换结果时 ADC12IFGx 位被置位。如果相应的 ADC12IEx 位和 GIE 位被置位，会产生一个中断请求。当转换结果 ADC12MEMx 的先前转换结果被读取之前被写入任何 ADC12MEMx 中时，ADC12OV 条件发生。在当前转换完成之前请求另一个采样转换时，会产生 ADC12TOV 条件。在转换后，该 DMA 在单信道模式下或在一个序列通道模式完成之后被触发。

23.2.9.1 ADC12IV, 中断向量发生器

所有 ADC12 中断源被优先化并被结合起来共同来自一个中断向量源。中断向量寄存器 ADC12IV 用于确定哪一个使能的 ADC12 中断源请求了一个中断。

最高优先级的使能的 ADC12 中断产生在 ADC12IV 寄存器中产生了一个数字（请见节 23.3.6）。为了能自动进入相应的软件程序，可以对这个数字进行评估，或将其添加到程序计数器。禁用的 ADC12 中断不影响 ADC12IV 的值。

如果是最高的正挂起的中断，对 ADC12IV 寄存器进行的任何访问（读取或写入）都会自动复位 ADC12OV 条件或 ADC12TOV 条件。中断条件也没有一个可访问的中断标志。该 ADC12IFGx 标志不会被一个 ADC12IV 的访问复位。通过访问相关的 ADC12MEMx 寄存器能使 ADC12IFGx 位自动复位或可能通过软件复位。

如果在服务一个中断后另一个中断挂起，就会产生另一个中断。例如，如果 ADC12OV 和 ADC12IFG3 中断挂起时，当中断服务子程序访问 ADC12IV 寄存器时，ADC12OV 中断条件会自动复位。在中断服务程序的 RETI 指令被执行后，ADC12IFG3 会产生另一个中断。

23.2.9.2 ADC12 中断处理软件示例

示例 23-1 给出了推荐的 ADC12IV 和处理开销的使用。为了自动跳转到相应的子程序，ADC12IV 值将被添加到 PC。

在右边距的数字显示了每条指令所需的 CPU 周期。不同中断源的软件开销包括中断延迟时间和从中断返回周期，但不包含处理本身的任务。延迟是：

- ADC12IFG0 至 ADC12IFG14、ADC12TOV 和 ADC12OV：16 个周期
- ADC12IFG15：14 个周期

如果在 ADC12IFG15 的处理过程中发生了一个更高优先级的中断，ADC12IFG15 的中断处理程序会给出一个立即检查的方法。如果另一个 ADC12 中断挂起时，这样可以节省 9 个时钟周期。

示例 23-1. 中断处理

```

; Interrupt handler for ADC12.
INT_ADC12      ; Enter Interrupt Service Routine      6
  ADD    &ADC12IV,PC ; Add offset to PC              3
  RETI    ; Vector 0: No interrupt                    5
  JMP    ADOV    ; Vector 2: ADC overflow              2
  JMP    ADTOV   ; Vector 4: ADC timing overflow       2
  JMP    ADM0    ; Vector 6: ADC12IFG0                 2
  ...      ; Vectors 8-32                             2
  JMP    ADM14   ; Vector 34: ADC12IFG14              2
;
; Handler for ADC12IFG15 starts here.No JMP required.
;
ADM15  MOV    &ADC12MEM15,xxx ; Move result, flag is reset
      ...      ; Other instruction needed?
      JMP    INT_ADC12      ; Check other int pending
;
;  ADC12IFG14-ADC12IFG1 handlers go here
;
ADM0  MOV    &ADC12MEM0,xxx ; Move result, flag is reset
      ...      ; Other instruction needed?
      RETI    ; Return                    5
;
ADTOV ...      ; Handle Conv. time overflow
      RETI    ; Return                    5
;
ADOV  ...      ; Handle ADCMEMx overflow
      RETI    ; Return                    5

```

23.3 ADC12 寄存器

表 23-2 列出了 ADC12 的存储器映射寄存器。

表 23-2. ADC12 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	复位	部分
1A0h	ADC12CTL0	ADC12 控制 0	POR 后为 00h	节 23.3.2
1A2h	ADC12CTL1	ADC12 控制 1	POR 后为 00h	节 23.3.3
1A4h	ADC12IFG	ADC12 中断标志	POR 后为 00h	节 23.3.4
1A6h	ADC12IE	ADC12 中断使能	POR 后为 00h	节 23.3.5
1A8h	ADC12IV	ADC12 中断向量字	POR 后为 00h	节 23.3.6
80h	ADC12MCTL0	ADC12 存储器控制 0	POR 后为 00h	节 23.3.7
81h	ADC12MCTL1	ADC12 存储器控制 1	POR 后为 00h	节 23.3.7
82h	ADC12MCTL2	ADC12 存储器控制 2	POR 后为 00h	节 23.3.7
83h	ADC12MCTL3	ADC12 存储器控制 3	POR 后为 00h	节 23.3.7
84h	ADC12MCTL4	ADC12 存储器控制 4	POR 后为 00h	节 23.3.7
85h	ADC12MCTL5	ADC12 存储器控制 5	POR 后为 00h	节 23.3.7
86h	ADC12MCTL6	ADC12 存储器控制 6	POR 后为 00h	节 23.3.7
87h	ADC12MCTL7	ADC12 存储器控制 7	POR 后为 00h	节 23.3.7
88h	ADC12MCTL8	ADC12 存储器控制 8	POR 后为 00h	节 23.3.7
89h	ADC12MCTL9	ADC12 存储器控制 9	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Ah	ADC12MCTL10	ADC12 存储器控制 10	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Bh	ADC12MCTL11	ADC12 存储器控制 11	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Ch	ADC12MCTL12	ADC12 存储器控制 12	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Dh	ADC12MCTL13	ADC12 存储器控制 13	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Eh	ADC12MCTL14	ADC12 存储器控制 14	POR 后为 00h	节 23.3.7
8Fh	ADC12MCTL15	ADC12 存储器控制 15	POR 后为 00h	节 23.3.7
140h	ADC12MEM0	ADC0 存储器 0	未更改	节 23.3.8
142h	ADC12MEM1	ADC1 存储器 1	未更改	节 23.3.8
144h	ADC12MEM2	ADC2 存储器 2	未更改	节 23.3.8
146h	ADC12MEM3	ADC3 存储器 3	未更改	节 23.3.8
148h	ADC12MEM4	ADC4 存储器 4	未更改	节 23.3.8
14Ah	ADC12MEM5	ADC5 存储器 5	未更改	节 23.3.8
14Ch	ADC12MEM6	ADC6 存储器 6	未更改	节 23.3.8
14Eh	ADC12MEM7	ADC7 存储器 7	未更改	节 23.3.8
150h	ADC12MEM8	ADC8 存储器 8	未更改	节 23.3.8
152h	ADC12MEM9	ADC9 存储器 9	未更改	节 23.3.8
154h	ADC12MEM10	ADC10 存储器 10	未更改	节 23.3.8
156h	ADC12MEM11	ADC11 存储器 11	未更改	节 23.3.8
158h	ADC12MEM12	ADC12 存储器 12	未更改	节 23.3.8
15Ah	ADC12MEM13	ADC13 存储器 13	未更改	节 23.3.8
15Ch	ADC12MEM14	ADC14 存储器 14	未更改	节 23.3.8
15Eh	ADC12MEM15	ADC15 存储器 15	未更改	节 23.3.8

23.3.1 ADC12CTL0 寄存器

ADC12 控制寄存器 0 寄存器

图 23-12 展示了 ADC12CTL0，表 23-3 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-12. ADC12CTL0 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
SHT1x				SHT0x			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
MSC	REF2_5V	REFON	ADC120N	ADC12OVIE	ADC12TOVIE	ENC	ADC12SC
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
仅在 ENC = 0 时可修改							

表 23-3. ADC12CTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	SHT1x	R/W	0h	采样保持时间。这些位决定 ADC12MEM8 到 ADC12MEM15 寄存器在采样周期的 ADC12CLK 周期的数量。仅在 ENC = 0 时可修改。 0000b = 4 个 ADC12CLK 周期 0001b = 8 个 ADC12CLK 周期 0010b = 16 个 ADC12CLK 周期 0011b = 32 个 ADC12CLK 周期 0100b = 64 个 ADC12CLK 周期 0101b = 96 个 ADC12CLK 周期 0110b = 128 个 ADC12CLK 周期 0111b = 192 个 ADC12CLK 周期 1000b = 256 个 ADC12CLK 周期 1001b = 384 个 ADC12CLK 周期 1010b = 512 个 ADC12CLK 周期 1011b = 768 个 ADC12CLK 周期 1100b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1101b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1110b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1111b = 1024 个 ADC12CLK 周期

表 23-3. ADC12CTL0 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
11-8	SHT0x	R/W	0h	<p>采样保持时间。这些位决定 ADC12MEM0 到 ADC12MEM7 寄存器在采样周期的 ADC12CLK 周期的数量。仅在 ENC = 0 时可修改。</p> <p>0000b = 4 个 ADC12CLK 周期 0001b = 8 个 ADC12CLK 周期 0010b = 16 个 ADC12CLK 周期 0011b = 32 个 ADC12CLK 周期 0100b = 64 个 ADC12CLK 周期 0101b = 96 个 ADC12CLK 周期 0110b = 128 个 ADC12CLK 周期 0111b = 192 个 ADC12CLK 周期 1000b = 256 个 ADC12CLK 周期 1001b = 384 个 ADC12CLK 周期 1010b = 512 个 ADC12CLK 周期 1011b = 768 个 ADC12CLK 周期 1100b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1101b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1110b = 1024 个 ADC12CLK 周期 1111b = 1024 个 ADC12CLK 周期</p>
7	MSC	R/W	0h	<p>多重采样和转换。只在序列或重复模式中有效。仅在 ENC = 0 时可修改。</p> <p>0b = 采样计时器需要 SHI 信号的上升沿来触发每次采样转换。 1b = SHI 信号的第一个上升沿触发采样计时器，但一旦先前的转换完成，就会自动执行进一步的采样转换。</p>
6	REF2_5V	R/W	0h	<p>基准发生器电压。REFON 也必须被置位。仅在 ENC = 0 时可修改。</p> <p>0b = 1.5 V 1b = 2.5 V</p>
5	REFON	R/W	0h	<p>基准发生器开启。仅在 ENC = 0 时可修改。</p> <p>0b = 基准关闭 1b = 基准打开</p>
4	ADC12ON	R/W	0h	<p>ADC12 开启。仅在 ENC = 0 时可修改。</p> <p>0b = ADC12 关闭 1b = ADC12 开启</p>
3	ADC12OVIE	R/W	0h	<p>ADC12MEMx 溢出中断使能。GIE 位也必须设置为启用中断。</p> <p>0b = 禁用溢出中断 1b = 使能溢出中断</p>
2	ADC12TOVIE	R/W	0h	<p>ADC12 转换时间溢出中断使能。也必须置位 GIE 位来启用该中断。</p> <p>0b = 禁用转换时间溢出中断 1b = 使能转换时间溢出中断</p>
1	ENC	R/W	0h	<p>使能转换</p> <p>0b = 禁用 ADC12 1b = 启用 ADC12</p>
0	ADC12SC	R/W	0h	<p>开始转换软件控制的采样和转换启动。ADC12SC 和 ENC 可以用同一个指令一起被置位。ADC12SC 自动复位。</p> <p>0b = 无采样转换启动 1b = 采样转换启动</p>

23.3.2 ADC12CTL1 寄存器

ADC12 控制寄存器 1 寄存器

图 23-13 展示了 ADC12CTL1，表 23-4 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-13. ADC12CTL1 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
CSTARTADDx				SHSx		SHP	ISSH
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC12DIVx			ADC12SSELx		CONSEQx		ADC12BUSY
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
仅在 ENC = 0 时可修改							

表 23-4. ADC12CTL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	CSTARTADDx	R/W	0h	转换的起始地址。这些位用于选择哪一个 ADC12 转换存储器寄存器是用于一个单次转换的或在一个序列中的第一个转换的。CSTARTADDx 的值是 0 到 0Fh，与 ADC12MEM0 到 ADC12MEM15 相对应。仅在 ENC = 0 时可修改。
11-10	SHSx	R/W	0h	采样和保持源选择。仅在 ENC = 0 时可修改。 00b = ADC12SC 位 01b = Timer_A.OUT1 10b = Timer_B.OUT0 11b = Timer_B.OUT1
9	SHP	R/W	0h	采样保持脉冲模式选择。此位选择采样信号 (SAMPCON) 源是作为采样定时器的输出还是直接作为采样输入信号输出。仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = SAMPCON 信号来源于采样输入信号。 1b = SAMPCON 信号来源于采样定时器。
8	ISSH	R/W	0h	反相信号采样保持。仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 采用输入信号不取反。 1b = 采用输入信号取反。
7-5	ADC12DIVx	R/W	0h	ADC12 时钟分频器。仅在 ENC = 0 时可修改。 000b = /1 001b = /2 010b = /3 011b = /4 100b = /5 101b = /6 110b = /7 111b = /8
4-3	ADC12SSELx	R/W	0h	ADC12 时钟源选择。仅在 ENC = 0 时可修改。 00b = ADC12OSC 01b = ACLK 10b = MCLK 11b = SMCLK

表 23-4. ADC12CTL1 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
2-1	CONSEQx	R/W	0h	转换序列模式选择 00b = 单通道单次转换模式 01b = 通道序列模式 10b = 重复单通道模式 11b = 重复通道序列模式
0	ADC12BUSY	R/W	0h	ADC12 忙。该位标志着一个有效的采样或转换操作。 0b = 无操作处于活动状态 1b = 有序列、采样或转换处于活动状态

23.3.3 ADC12IFG 寄存器

ADC12 中断标志寄存器

图 23-14 展示了 ADC12IFG，表 23-5 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-14. ADC12IFG 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
ADC12IFG15	ADC12IFG14	ADC12IFG13	ADC12IFG12	ADC12IFG11	ADC12IFG10	ADC12IFG9	ADC12IFG8
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC12IFG7	ADC12IFG6	ADC12IFG5	ADC12IFG4	ADC12IFG3	ADC12IFG2	ADC12IFG1	ADC12IFG0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 23-5. ADC12IFG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	ADC12IFGx	R/W	0h	ADC12MEMx 中断标志。当用一个转换结果加载相应的 ADC12MEMx 时，这些位被置位。如果相应的 ADC12MEMx 被访问，ADC12IFGx 位就被复位，或可以用软件复位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起

23.3.4 ADC12IE 寄存器

ADC12 中断使能寄存器

图 23-15 展示了 ADC12IE，表 23-6 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-15. ADC12IE 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
ADC12IE15	ADC12IE14	ADC12IE13	ADC12IE12	ADC12IE11	ADC12IE10	ADC12IFG9	ADC12IE8
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC12IE7	ADC12IE6	ADC12IE5	ADC12IE4	ADC12IE3	ADC12IE2	ADC12IE1	ADC12IE0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 23-6. ADC12IE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	ADC12IEx	R/W	0h	中断使能。这些位启用或禁用 ADC12IFGx 位的中断请求。 0b = 禁用中断 1b = 中断被使能

23.3.5 ADC12IV 寄存器

ADC12 中断向量寄存器

图 23-16 展示了 ADC12IV，表 23-7 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-16. ADC12IV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
ADC12IVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
ADC12IVx							
r-0	r-0	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r-(0)	r-0

表 23-7. ADC12IV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	ADC12IVx	R	0h	ADC12 中断向量值。请参阅表 23-8。

表 23-8. ADC12 中断向量值

ADC12IV 内容	中断源	中断标志	中断优先级
000h	无中断挂起	-	
002h	ADC12MEMx 溢出	-	最高
004h	转换时间溢出	-	
006h	ADC12MEM0 中断标志	ADC12IFG0	
008h	ADC12MEM1 中断标志	ADC12IFG1	
00Ah	ADC12MEM2 的中断标志	ADC12IFG2	
00Ch	ADC12MEM3 中断标志	ADC12IFG3	
00Eh	ADC12MEM4 中断标志	ADC12IFG4	
010h	ADC12MEM5 中断标志	ADC12IFG5	
012h	ADC12MEM6 中断标志	ADC12IFG6	
014h	ADC12MEM7 中断标志	ADC12IFG7	
016h	ADC12MEM8 中断标志	ADC12IFG8	
018h	ADC12MEM9 中断标志	ADC12IFG9	
01Ah	ADC12MEM10 中断标志	ADC12IFG10	
01Ch	ADC12MEM11 中断标志	ADC12IFG11	
01Eh	ADC12MEM12 中断标志	ADC12IFG12	
020h	ADC12MEM13 中断标志	ADC12IFG13	
022h	ADC12MEM14 中断标志	ADC12IFG14	
024h	ADC12MEM15 中断标志	ADC12IFG15	最低

23.3.6 ADC12MCTLx 寄存器

ADC12 存储器控制 x 寄存器

图 23-17 展示了 ADC12MCTLx，表 23-9 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-17. ADC12MCTLx 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
EOS	SREFx			INCHx			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
仅在 ENC = 0 时可修改							

表 23-9. ADC12MCTLx 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	EOS	R/W	0h	序列末尾。表示在一个序列中的最后一个转换。仅在 ENC = 0 时可修改。 0b = 非序列末尾 1b = 序列末尾
6-4	SREFx	R/W	0h	选择基准仅在 ENC = 0 时可修改。 000b = $V_{R+} = AV_{CC}$, $V_{R-} = AV_{SS}$ 001b = $V_{R+} = V_{REF+}$, $V_{R-} = AV_{SS}$ 010b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = AV_{SS}$ 011b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = AV_{SS}$ 100b = $V_{R+} = AV_{CC}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 101b = $V_{R+} = V_{REF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 110b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$ 111b = $V_{R+} = V_{eREF+}$, $V_{R-} = V_{REF}/V_{eREF-}$
3-0	INCHx	R/W	0h	输入通道选择。仅在 ENC = 0 时可修改。 0000b = A0 0001b = A1 0010b = A2 0011b = A3 0100b = A4 0101b = A5 0110b = A6 0111b = A7 1000b = V_{eREF+} 1001b = V_{REF}/V_{eREF-} 1010b = 温度二极管 1011b = $(AV_{CC} - AV_{SS})/2$ 1100b = GND 1101b = GND 1110b = GND 1111b = GND

23.3.7 ADC12MEMx 寄存器

ADC12 存储器 x 寄存器

图 23-18 展示了 ADC12MEMx，表 23-10 中对此进行了介绍。

返回表 23-2。

图 23-18. ADC12MEMx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
转换结果							
r-0	r-0	r-0	r-0	rw	rw	rw	rw
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
转换结果							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

表 23-10. ADC12MEM0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	转换结果	R/W	0h	12 位转换结果是右对齐的。位 11 是 MSB。位 15-12 总是 0。写入转换存储寄存器会破坏结果。



标签长度值 (TLV) 结构用于选定的 MSP430x2xx 器件，以在器件的闪存 SegmentA 中提供特定于器件的信息，例如校准数据。如需了解与器件相关的实现信息，请参阅器件特定数据表。

24.1 TLV 介绍.....	632
24.2 支持的标签.....	632
24.3 检查段 A 的完整性.....	636
24.4 分解段 A 的 TLV 结构.....	636

24.1 TLV 介绍

TLV 结构段 A 中器件专用数据。表 24-1 展示了示例器件的 SegmentA 内容。

表 24-1. 示例 SegmentA 结构

字地址	高位字节	低位字节	标签地址和偏移
0x10FE	CALBC1_1MHZ	CALDCO_1MHZ	0x10F6 + 0x0008
0x10FC	CALBC1_8MHZ	CALDCO_8MHZ	0x10F6 + 0x0006
0x10FA	CALBC1_12MHZ	CALDCO_12MHZ	0x10F6 + 0x0004
0x10F8	CALBC1_16MHZ	CALDCO_16MHZ	0x10F6 + 0x0002
0x10F6	0x08 (LENGTH)	TAG_DCO_30	0x10F6
0x10F4	0xFF	0xFF	
0x10F2	0xFF	0xFF	
0x10F0	0xFF	0xFF	
0x10EE	0xFF	0xFF	
0x10 EC	0x08 (LENGTH)	TAG_EMPTY	0x10 EC
0x10EA	CAL_ADC_25T85		0x10DA + 0x0010
8x10E0	CAL_ADC_25T30		0x10DA + 0x000E
6x10E0	CAL_ADC_25VREF_FACTOR		0x10DA + 0x000C
4x10E0	CAL_ADC_15T85		0x10DA + 0x000A
2x10E0	CAL_ADC_15T30		0x10DA + 0x0008
0x10E0	CAL_ADC_15VREF_FACTOR		0x10DA + 0x0006
0x10DE	CAL_ADC_OFFSET		0x10DA + 0x0004
0x10DC	CAL_ADC_GAIN_FACTOR		0x10DA + 0x0002
0x10DA	0x10 (LENGTH)	TAG_ADC12_1	0x10DA
0x10D8	0xFF	0xFF	
0x10D6	0xFF	0xFF	
0x10D4	0xFF	0xFF	
0x10D2	0xFF	0xFF	
0x10D0	0xFF	0xFF	
0x10CE	0xFF	0xFF	
0x10CC	0xFF	0xFF	
0x10CA	0xFF	0xFF	
0x10C8	0xFF	0xFF	
0x10C6	0xFF	0xFF	
0x10C4	0xFF	0xFF	
0x10C2	0x16 (LENGTH)	TAG_EMPTY	0x10C2
0x10C0	逐位异或运算的 2 的补码		0x10C0

SegmentA 的前两个字节 (0x10C0 和 0x10C1) 保存该段剩余部分 (地址 0x10C2 至 0x10FF) 的校验和。

第一标签位于地址 0x10C2 中, 在这个例子中, 是 TAG_EMPTY 标签。下一个字节 (0x10C3) 保存下一个结构的长度。该 TAG_EMPTY 结构的长度为 0x16, 因此, 下一个标签 TAG_ADC12_1 位于地址 0x10DA。同样, 下一个字节保存 TAG_ADC12_1 结构的长度。

TLV 结构将整个地址范围 0x10C2 映射到段 A 的 0x10FF。查找从 SegmentA 地址 0x10C2 开始的标签的程序例程可以提取所有信息, 即使它存储在不同的 (特定于器件) 绝对地址处也是如此。

24.2 支持的标签

每个器件包含在表 24-2 所示标签的一个子集。有关详细信息请参阅《器件专用数据表》。

表 24-2. 支持的标签 (特定于器件)

标签	说明	值
TAG_EMPTY	识别一个未被使用的内存区域	0xFE
TAG_DCO_30	室温下且 DV _{CC} = 3V 时 DCO 的校准值	0x01
TAG_ADC12_1	ADC12 模块的校准值	0x08
TAG_ADC10_1	ADC10 模块的校准值	在选定的器件上可用, 值特定于器件

24.2.1 DCO 校准 TLV 结构

在对于 DCO 校准, 使用了 BCS+ 寄存器 (BCSCTL1 和 DCOCTL)。存储在闪存信息存储器 SegmentA 中的值被写入 BCS 寄存器 (请参阅表 24-3)。

表 24-3. DCO 校准数据 (特定于器件)

标签	说明	偏移量
CALBC1_1MHZ	频率为 1MHz、T _A = 25°C 时 BCSCTL1 寄存器的值	0x07
CALDCO_1MHZ	频率为 1MHz、T _A = 25°C 时 DCOCTL 寄存器的值	0x06
CALBC1_8MHZ	频率为 8MHz、T _A = 25°C 时 BCSCTL1 寄存器的值	0x05
CALDCO_8MHZ	频率为 8MHz、T _A = 25°C 时 DCOCTL 寄存器的值	0x04
CALBC1_12MHZ	频率为 12MHz、T _A = 25°C 时 BCSCTL1 寄存器的值	0x03
CALDCO_12MHZ	频率为 12MHz、T _A = 25°C 时 DCOCTL 寄存器的值	0x02
CALBC1_16MHZ	频率为 16MHz、T _A = 25°C 时 BCSCTL1 寄存器的值	0x01
CALDCO_16MHZ	频率为 16MHz、T _A = 25°C 时 DCOCTL 寄存器的值	0x00

DCO 的校准数据在所有 2xx 器件中都可用, 并且存储在相同的绝对地址中。如果使用示例 24-1 中所示的示例代码, 则通过使用绝对寻址模式来应用特定于器件的 SegmentA 内容。

示例 24-1. 使用绝对寻址模式的代码示例

```

; Calibrate the DCO to 1 MHz
CLR.B   &DCOCTL           ; Select lowest DCOx
                          ; and MODx settings
MOV.B   &CALBC1_1MHZ,&BCSCTL1 ; Set RSELx
MOV.B   &CALDCO_1MHZ,&DCOCTL  ; Set DCOx and MODx

```

示例 24-2. 使用 TLV 结构的代码示例

```

; Calibrate the DCO to 8 MHz
; It is assumed that R10 contains the address of the TAG_DCO_30 tag
CLR.B   &DCOCTL           ; Select lowest DCOx and
                          ; MODx settings
MOV.B   7(R10),&BCSCTL1  ; Set RSEL
MOV.B   6(R10),&DCOCTL   ; Set DCOx and MODx

```

24.2.2 TAG_ADC12_1 校准 TLV 结构

ADC12 模块的校准数据由八个字组成 (请见表 24-4) 。

表 24-4. TAG_ADC12_1 校准数据 (特定于器件)

标签	说明	偏移量
CAL_ADC_25T85	VREF2_5 = 1, T _A = 85°C ± 2°C, 12 位转换结果	0x0E
CAL_ADC_25T30	VREF2_5 = 1, T _A = 30°C ± 2°C, 12 位转换结果	0x0C
CAL_ADC_25VREF_因子	VREF2_5 = 1, T _A = 30°C ± 2°C	0x0A
CAL_ADC_15T85	VREF2_5 = 0, T _A = 85°C ± 2°C, 12 位转换结果	0x08
CAL_ADC_15T30	VREF2_5 = 0, T _A = 30°C ± 2°C, 12 位转换结果	0x06
CAL_ADC_15VREF_因子	VREF2_5 = 0, T _A = 30°C ± 2°C	0x04
CAL_ADC_偏移量	V _{eREF} = 2.5V, T _A = 85°C ± 2°C, f _{ADC12CLK} = 5MHz	0x02
CAL_ADC_GAIN_FACTOR	V _{eREF} = 2.5V, T _A = 85°C ± 2°C, f _{ADC12CLK} = 5MHz	0x00

24.2.2.1 温度传感器校准数据

通过使用内部基准电压来校准该温度传感器。每个基准电压 (1.5V 和 2.5V) 都包含针对两个温度 (即 30°C±2°C 和 85°C±2°C) 的测量值, 并存储在位于相应 SegmentA 位置的 TLV 结构中 (请参阅表 24-4) 。温度传感器电压 (以 mV 为单位) 的特征方程为:

$$V_{\text{SENSE}} = TC_{\text{SENSOR}} \times \text{Temp} + V_{\text{SENSOR}} \quad (1)$$

温度系数, 以 mV/°C 为单位的 TC_{传感器}, 代表方程的斜率。V_{传感器}, 以 mV 为单位, 代表方程的 y 轴截距。温度, 以 °C 为单位, 是参与研究的温度。

可对温度 (Temp, °C) 进行计算, 如下面为每个在 ADC 测量中使用的基准电压的计算:

$$\begin{aligned} \text{Temp} &= (\text{ADC}(\text{raw}) - \text{CAL_ADC_15T30}) \times \left(\frac{85 - 30}{\text{CAL_ADC_15T85} - \text{CAL_ADC_15T30}} \right) + 30 \\ \text{Temp} &= (\text{ADC}(\text{raw}) - \text{CAL_ADC_25T30}) \times \left(\frac{85 - 30}{\text{CAL_ADC_25T85} - \text{CAL_ADC_25T30}} \right) + 30 \end{aligned} \quad (2)$$

24.2.2.2 集成电压基准校准数据

基准电压 (VREF2_5=0 和 1) 是在室温下测定的。测量值经过 1.5V 或 2.5V 归一化, 然后存储到闪存信息存储器 SegmentA 中。

$$\text{CAL_ADC_15VREF_FACTOR} = (V_{\text{eREF}}/1.5V) \times 2^{15}$$

通过将转换结果与 CAL_ADC_15VREF_FACTOR (或 CAL_ADC_25VREF_FACTOR) 相乘并将结果除以 2¹⁵ 来校正转换结果。

$$\text{ADC (校正)} = \text{ADC (原始)} \times \text{CAL_ADC_15VREF_FACTOR} \times (1/2^{15})$$

24.2.2.3 使用基准校准的示例

在下面的例子中, 集成的 1.5V 基准电压用于转换过程。

- 转换结果: 0x0100
- 基准电压校准系数 (CAL_ADC_15VREF_FACTOR): 0x7BBB

以下步骤展示了如何使用硬件乘法器来校正 ADC12 转换结果的示例:

1. 将转换结果乘以 2 (该步骤可简化最终的除法) 。
2. 将结果乘以 CAL_ADC_15VREF_FACTOR。

3. 将结果除以 2^{16} (使用 32 位乘法结果的高位字 RESHI)。

在这个例子中：

1. $0x0100 \times 0x0002 = 0x0200$
2. $0x0200 \times 0x7BBB = 0x00F7_7600$
3. $0x00F7_7600 \div 0x0001_0000 = 0x0000_00F7 (= 247)$

以下是使用硬件乘法器的代码示例。

```

; The ADC conversion result is stored in ADC12MEM0
; It is assumed that R9 contains the address of the
; TAG_ADC12_1.
; The corrected value is available in ADC_COR
MOV.W   &ADC12MEM0,R10   ; move result to R10
RLA.W   R10              ; R10 x 2
MOV.W   R10,&MPY         ; unsigned multiply OP1
MOV.W   CAL_ADC_15VREF_FACTOR(R9),&OP2
                          ; calibration value OP2
MOV.W   &RESHI,&ADC_COR  ; result: upper 16-bit MPY

```

24.2.2.4 偏移和增益校准数据

确定了 ADC12 的偏移量并将其作为二进制补码数存储在 SegmentA 中。通过把 CAL_ADC_OFFSET 添加到转换结果中来完成偏移误差校正。

$ADC(\text{偏移量_已校正}) = ADC(\text{原始}) + CAL_ADC_OFFSET$

ADC12 的增益存储在偏移 0x00 处，可通过以下公式进行计算。

$CAL_ADC_GAIN_FACTOR = (1 / \text{增益}) \times 2^{15}$

将转换结果乘以 CAL_ADC_GAIN_FACTOR 并将得到的结果除以 2^{15} ，以完成增益校正。

$ADC(\text{gain_corrected}) = ADC(\text{raw}) \times CAL_ADC_GAIN_FACTOR \times (1/2^{15})$

如果增益和偏移量这两个都要进行校正，那么首先进行增益校正。

$ADC(\text{gain_corrected}) = ADC(\text{raw}) \times CAL_ADC_GAIN_FACTOR \times (1/2^{15})$

$ADC(\text{最终}) = ADC(\text{增益_已校正}) + CAL_ADC_OFFSET$

24.2.2.5 使用增益和失调电压校准的示例

在以下示例中，在转换期间使用了外部基准电压。

- 转换结果：0x0800 (= 2048)
- 增益校准系数：0x7FE0 (增益误差：+2 LSB)
- 失调电压校准：0xFFFFE (-2 的二进制补码)

以下步骤展示了如何使用硬件乘法器校正 ADC12 转换结果的示例：

1. 将转换结果乘以 2 (该步骤可简化最终的除法)。
2. 将结果乘以 CAL_ADC_GAIN_FACTOR。
3. 将结果除以 2^{16} (使用 32 位乘法结果的高位字 RESHI)
4. 将 CAL_ADC_OFFSET 与结果相加。

在这个例子中：

1. $0x0800 + (0x \times 0002) = 0x1000$
2. $0x1000 \times 0x8010 = 0x0801_0000$
3. $0x0801_0000 \div 0x0001_0000 = 0x0000_0801 (= 2049)$
4. $0x801 + 0xFFFFE = 0x07FF (= 2047)$

以下是使用硬件乘法器的代码示例。

```

; The ADC conversion result is stored in ADC12MEM0
; It is assumed that R9 contains the address of the TAG_ADC12_1.
; The corrected value is available in ADC_COR
MOV.W  &ADC12MEM0,R10    ; move result to R10
RLA.W  R10                ; R10 * 2
MOV.W  R10,&MPY           ; unsigned multiply OP1
MOV.W  CAL_ADC_GAIN_FACTOR(R9),&OP2
                                ; calibration value OP2
MOV.W  &RESHI,&ADC_COR   ; use upper 16-bit MPY
ADD.W  CAL_ADC_OFFSET(R9),&ADC_COR
                                ; add offset correction
    
```

24.3 检查段 A 的完整性

64 字节段 A 包含存储在地址为 0x10C0 和 0x10C1 的 0x10C2 至 0x10FF 处的数据的 2 字节校验和。校验和是以二进制补码数据格式存储的 31 个字的按位异或运算结果。

一个计算以下校验和的代码示例。

```

; Checking the SegmentA integrity by calculating the 2's
; complement of the 31 words at 0x10C2 - 0x10FE.
; It is assumed that the SegmentA Start Address is stored
; in R10.R11 is initialized to 0x00.
; The label TLV_CHKSUM is set to 0x10C0.
LP0    ADD.W  #2,R10        ; Skip the checksum
XOR.W  @R10+,R11         ; Add a word to checksum
CMP.W  #0x10FF,R10      ; Last word included?
JN     LP0               ; No, add more data
ADD.W  &TLV_CHKSUM,R11  ; Add checksum
JNZ    CSNOK             ; Checksum not ok
...    ...               ; Use SegmentA data
CSNOK  ...               ; Do not use SegmentA Data
    
```

24.4 分解段 A 的 TLV 结构

分析以下区段 A 的代码示例。

```

; It is assumed that the SegmentA start address
; is stored in R10.
LP1    ADD.W  #2,R10        ; Skip two bytes
CMP.W  #0x10FF,R10      ; SegmentA end reached?
JGE    DONE             ; Yes, done
CMP.B  #TAG_EMPTY,0(R10) ; TAG_EMPTY?
JNZ    T1               ; No, continue
JMP    LP2              ; Yes, done with TAG_EMPTY
T1     CMP.B  #TAG_ADC12_1,0(R10) ; TAG_ADC12_1?
JNZ    T2               ; No, continue
...    ...               ; Yes, found TAG_ADC12_1
JMP    LP2              ; Done with TAG_ADC12_1
T2     CMP.B  #DCO_30,0(R10) ; TAG_DCO_30?
JNZ    T3               ; No, continue
CLR.B  &DCOCTL          ; Select lowest DCOx
MOV.B  7(R10),&BCSCTL1  ; Yes, use e.g. 8MHz data and
MOV.B  6(R10),&DCOCTL   ; set DCOx and MODx
JMP    LP2              ; Done with TAG_DCO_30
T3     ...               ; Test for "next tag"
...    ...               ;
JMP    LP2              ; Done with "next tag"
LP2    MOV.B  1(R10),R11  ; Store LENGTH in R11
ADD.W  R11,R10          ; Add LENGTH to R10
JMP    LP1              ; Jump to continue analysis
DONE
    
```



DAC12 模块是一宽 12 位电压输出数模转换器 (DAC)。本章描述了 MSP430x2xx 器件系列的 DAC12 模块的运行。

25.1 DAC12 介绍	638
25.2 DAC12 运行	640
25.3 DAC12 寄存器	644

25.1 DAC12 介绍

DAC12 模块是一个 12 位电压输出数模转换器 (DAC)。DAC12 可在 8 位或者 12 位模式中被配置并可与 DMA 控制器协同使用。当多个 DAC12 模块出现时，可将它们编成一组进行同步更新操作。

DAC12 的特性包括：

- 12 位单片输出
- 8 位或 12 位电压输出分辨率
- 可编程的稳定时间与功耗间的关系
- 内部或者外部基准电压选择
- 直接二进制或 2 补码数据格式
- 针对偏移校正的自校准选项
- 多个 DAC12 模块的同步更新功能

备注

多个 DAC12 模块

有些器件内置了一个以上的 DAC12 模块。如果一个器件上出现一个以上的 DAC12 模块，则多 DAC12 模块完全相同的运行。

在这一整章中，将会出现如 DAC12_xDAT 或 DAC12_xCTL 的命名来描述寄存器名称。这种情况下，x 被用于指代正在被讨论的 DAC12 模块。在操作完全相同的情况下，寄存器被简写为 DAC12_xCTL。

DAC12 模块方框图如图 25-1 所示。

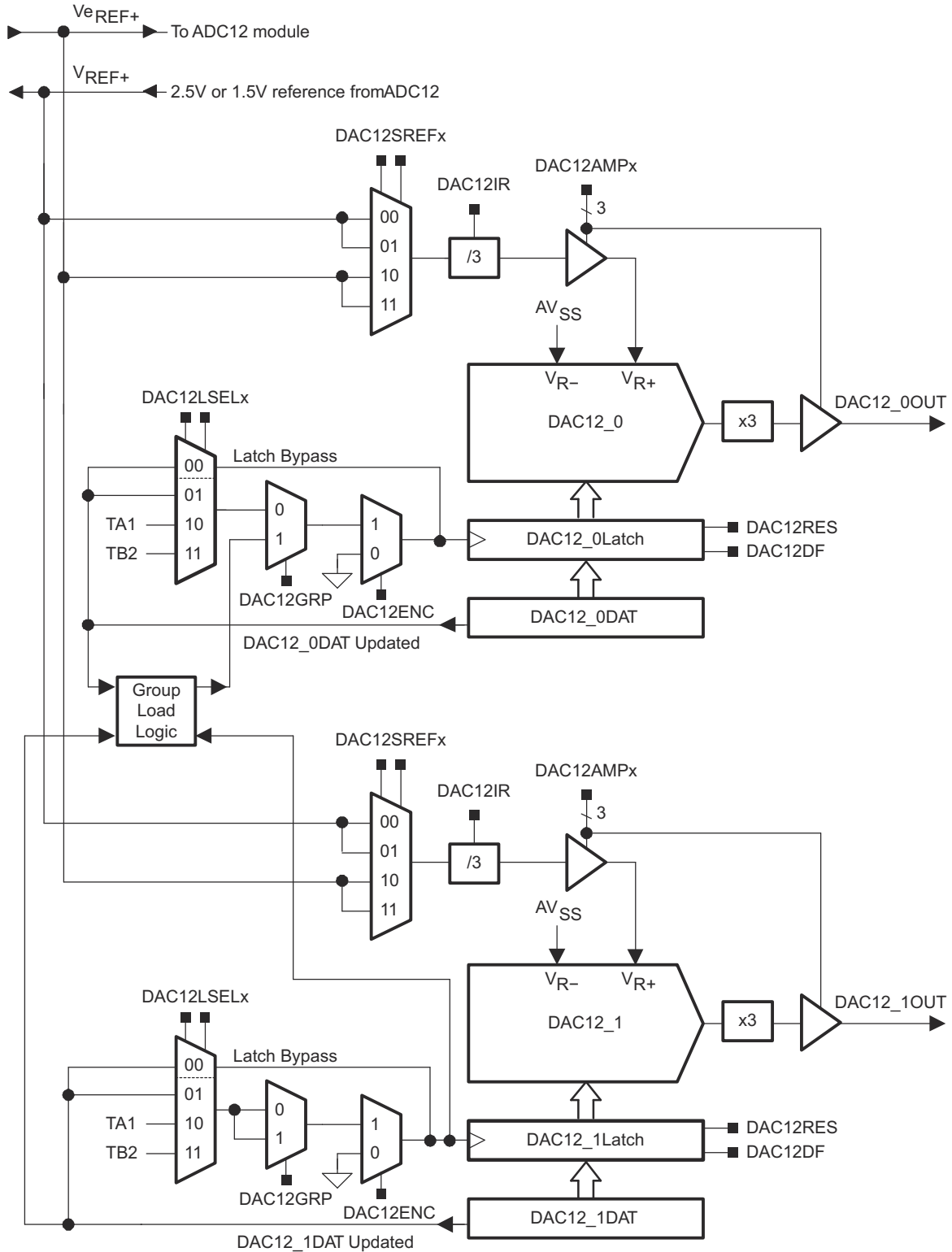


图 25-1. DAC12 方框图

25.2 DAC12 运行

DAC12 模块可由用户软件配置。DAC12 的运行和建立在下列章节中进行讨论。

25.2.1 DAC12 内核

DAC12 可以在 8 位或 12 位模式中使用 DAC12RES 位配置运作中。满量程输出可以通过 DAC12IR 位被编程为 1x 或 3x 选择的基准电压。此功能允许了用户控制 DAC12 的动态范围。DAC12DF 位允许用户为 DAC 在直节二进制和 2 补码数据格式之间进行选择。使用直节二进制数据格式时，输出电压公式在表 25-1 中给出。

表 25-1. DAC12 满量程范围 ($V_{REF}=V_{eREF+}$ 或 V_{REF+})

分辨率	DAC12RES	DAC12IR	输出电压公式
12 位	0	0	$V_{OUT} = V_{REF} \times 3 \times \frac{DAC12_xDAT}{4096}$
12 位	0	1	$V_{OUT} = V_{REF} \times \frac{DAC12_xDAT}{4096}$
8 位	1	0Ω	$V_{OUT} = V_{REF} \times 3 \times \frac{DAC12_xDAT}{256}$
8 位	1	1	$V_{OUT} = V_{REF} \times \frac{DAC12_xDAT}{256}$

在 8 位模式中，DAC12_xDAT 的最大可用值为 0FFh。在 12 位模式中，DAC12_xDAT 的最大可用值为 0FFFh。大于这些的值可能会被写入寄存器，但前导位会被忽略。

25.2.1.1 DAC12 端口选择

DAC12 输出与端口 P6 引脚和 ADC12 模拟量输入，和 V_{eREF+} 引脚是复用的。当 DAC12AMPx>0 时，DAC12 引脚将自动选择功能，而不管相关的 PxSELx 和 PxDIRx 位状态。DAC12OPS 位将在 P6 引脚和 V_{eREF+} 引脚之间为 DAC 输出进行选择。例如，当 DAC12OPS = 0 时，DAC12_0 在 P6.6 上输出，DAC12_1 在 P6.7 上输出。当 DAC12OPS = 1 时，DAC12_0 在 V_{eREF+} 上输出，DAC12_1 在 P6.5 上输出。有关端口引脚原理图的更多详细信息请参阅《器件专用数据表》。

25.2.2 DAC12 基准

DAC12 的基准被配置为使用外部基准电压或使用来自于带有 DAC12SREFx 位的 ADC12 模块的内部 1.5-V/2.5-V 基准电压。当 DAC12SREFx={0,1} 时， V_{REF+} 信号被用作基准电压并且当 DAC12SREFx={2,3} 时， V_{eREF+} 信号被用作基准电压。

想要使用 ADC12 内部基准电压，必须通过合适的 ADC12 控制位启用和配置它。

25.2.2.1 DAC12 基准输入和电压输出缓冲器

DAC12 的基准输入和电压输出缓冲器可以配置优化的建立时间与功耗。使用 DAC12AMPx 位选择 8 种组合。在低/低设置中，建立时间是最慢的，并且两个缓冲器的电流消耗也是最低的。中高级设置中比较快的建立时间，而且电流消耗也会增加。有关参数请参阅《器件专用数据表》

25.2.3 更新 DAC12 电压输出

DAC12_xDAT 寄存器可直接连接到 DAC12 内核或被双缓冲。最新的 DAC12 电压输出触发器由 DAC12LSELx 位选择。

当 DAC12LSELx = 0 时，数据锁存器是透明的，DAC12_xDAT 寄存器直接应用于 DAC12 内核。无论 DAC12ENC 位的状态如何，当新的 DAC12 数据写入 DAC12_xDAT 寄存器时，DAC12 输出都会立即更新。

当 DAC12LSELx=1 时，DAC12 的数据被锁存并且在新的数据被写入到 DAC12_xDAT 后该数据直接应用于 DAC12 内核。当 DAC12LSELx=2 或 3 时，数据分别被锁存在从定时器_A CCR1 输出的或定时器_B CCR2 输出的上升沿上。当 DAC12LSELx>0 时，DAC12ENC 必须被置位以锁存数据。

25.2.4 DAC12_xDAT 数据格式

DAC12 支持直接二进制和 2 补码两种数据格式。当使用直二进制数据格式时，在 12 位模式中满量程输出值是 0FFFh (在 8 位模式中是 0FFh) 如图 25-2 所示。

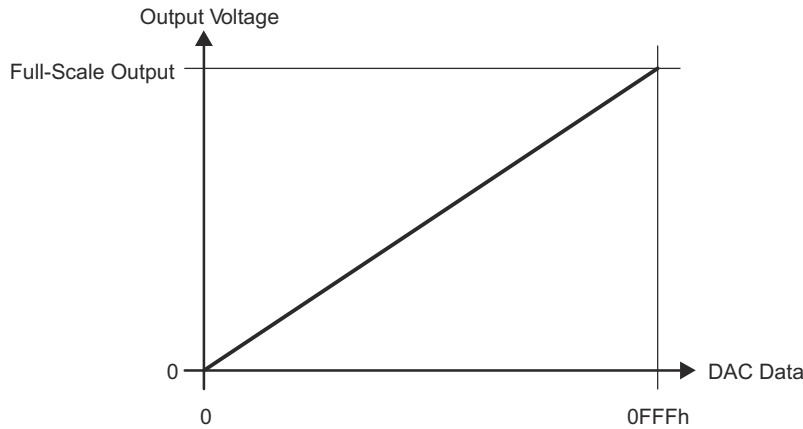


图 25-2. 输出电压与 DAC12 数据，12 位，直节二进制模式。

当使用 2 补码数据格式时，使得一个 DAC12_xDAT 的值在 0800h 范围内转换 (在 8 位模式中是 0800h) 导致了一个 0 输出电压，0000h 是半量程输出电压，和 07FFh (8 位模式为 007Fh) 是满量程输出电压 (见 图 25-3)。

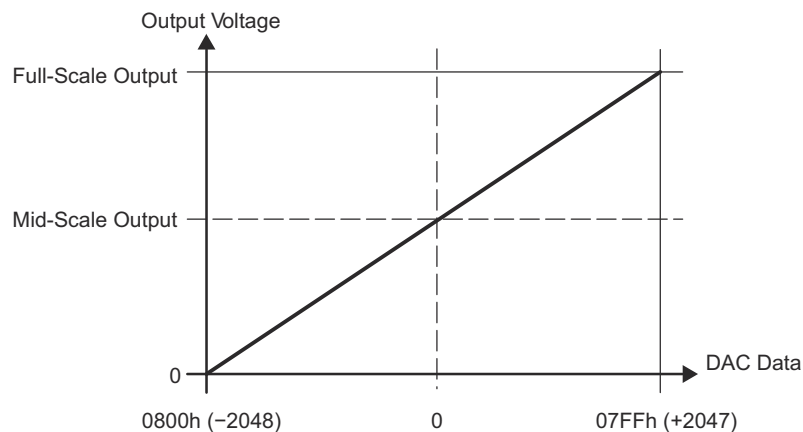
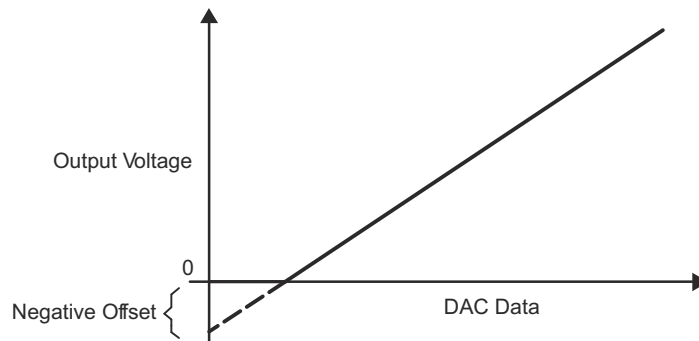


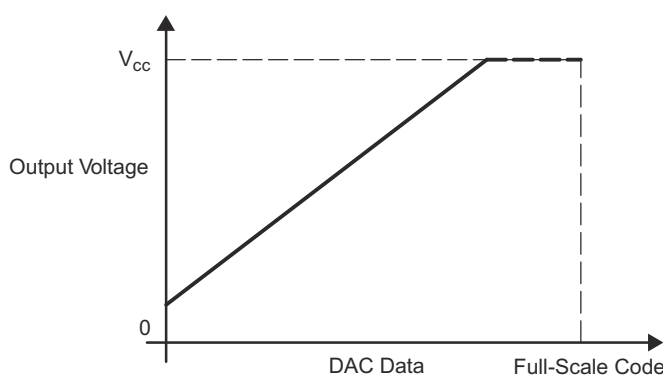
图 25-3. 输出电压与 DAC12 数据，12 位，2 补码模式

25.2.5 DAC12 输出放大器的失调校准

DAC12 输出放大器的偏置电压可以是正的或负的。当偏移量为负时，输出放大器试图驱动负电压，但不能成功。输出电压一直保持为 0 直到 DAC12 数字输入产生一个足够的输出电压来克服负偏移电压，从而产生了图 25-4 中所示的传递函数。


图 25-4. 负偏移

当输出放大器有一个正偏移时，一个值为 0 的数字输入不会导致输出电压为零。DAC12 的输出电压会在 DAC12 数据达到最大代码前达到最大输出电平。图 25-5 显示了这一过程。


图 25-5. 正偏移

DAC12 具有校准输出放大器的偏移电压的功能。设置 DAC12CALON 位来启动偏移校准。使用 DAC12 之前应完成校准。校准完成后，DAC12CALON 位自动复位。校准前应先配置 DAC12AMPx 位。为获得最佳校准结果，在校准过程中，应尽量减少端口和 CPU 的活动。

25.2.6 编组多个 DAC12 模块

多个 DAC12 可以被组合在一起使用 DAC12GRP 位同步更新每个 DAC12 输出。硬件确保 DAC12 模块组中的所有更新，同时也确保了任何中断或 NMI 事件的独立。

通过设置 DAC12_0 的 DAC12GRP 位编组 DAC12_0 和 DAC12_1。DAC12_1 中的 DAC12GRP 位不影响。当 DAC12_0 和 DAC12_1 被编组时：

- DAC12_1 DAC12LSELx 位为两种 DAC 选择更新触发。
- 两种 DAC 的 DAC12LSELx 位都必须 > 0。
- 两种 DAC 的 DAC12ENC 位都必须被设置为 1

在组合 DAC12_0 和 DAC12_1 时，必须在输出更新之前对两个 DAC12_xDAT 寄存器进行写入，即使其中一个或两个 DAC 的数据未更改也是如此。图 25-6 显示了 DAC12_0 和 DAC12_1 编组的一个锁存更新时序例子。

当 DAC12_0 DAC12GRP=1 和两种 DAC12_x DAC12LSELx>0 及任一 DAC12ENC=0 时，任一 DAC12 都不更新。

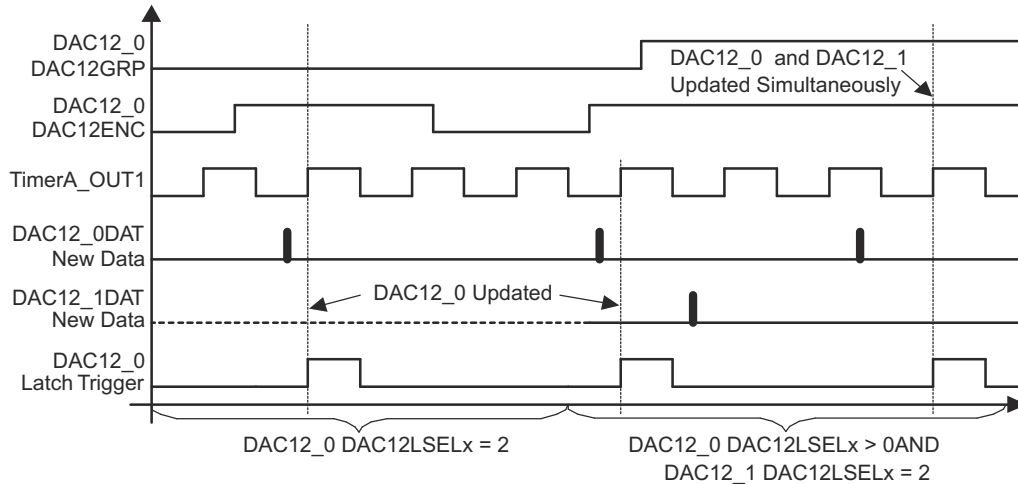


图 25-6. DAC12 组更新举例，定时器_A3 触发器

备注

DAC12 稳定时间

DMA 控制器能够将 DAC12 输出可以解决数据更快的传输至 DAC12。在使用 DMA 控制器时，用户必须保证 DAC12 稳定时间没有被占用。对于参数请参阅《器件专用数据表》

25.2.7 DAC12 中断

在某些器件上 DAC12 中断向量与 DMA 控制器共享（参见《器件专用数据表》的中断分配）。在这种情况下，软件必须检查 DAC12IFG 和 DMAIFG 标志位来判断中断源。

当 DAC12LSELx>0，从 DAC12_xDAT 寄存器到数据锁存器的数据被锁存时，DAC12IFG 被置位。当 DAC12LSELx=0 时，DAC12IFG 的标志没有被置位。

一个置位 DAC12IFG 位表明了 DAC12 正准备传输新数据。如果 DAC12IE 和 GIE 都被置位，则 DAC12IFG 产生一个中断请求。DAC12IFG 标志不会被自动复位。它必须由软件复位。

25.3 DAC12 寄存器

表 25-2 列出了 DAC12 的存储器映射寄存器。

表 25-2. DAC12 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
1C0h	DAC12_0CTL	DAC12_0 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 25.3.2
1C8h	DAC12_0DAT	DAC12_0 数据	读取/写入	POR 后为 00h	节 25.3.3
1C2h	DAC12_1CTL	DAC12_1 控制	读取/写入	POR 后为 00h	节 25.3.2
1CAh	DAC12_1DAT	DAC12_1 数据	读取/写入	POR 后为 00h	节 25.3.3

25.3.1 DAC12_xCTL 寄存器

DAC12_x 控制寄存器

图 25-7 展示了 DAC12_xCTL，表 25-3 中对此进行了介绍。

返回表 25-2。

图 25-7. DAC12_xCTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
DAC12OPS	DAC12SREFx		DAC12RES	DAC12LSELx		DAC12CALON	DAC12IR
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DAC12AMPx			DAC12DF	DAC12IE	DAC12IFG	DAC12ENC	DAC12GRP
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
只有当 DAC12ENC=0 时，才能被修改。							

表 25-3. DAC12_xCTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	DAC12OPS	R/W	0h	DAC12 输出选择。只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。 0b = DAC12_0 在 P6.6 上输出，DAC12_1 在 P6.7 上输出 1b = DAC12_0 在 V _{eREF+} 上输出，DAC12_1 在 P6.5 上输出
14-13	DAC12SREFx	R/W	0h	DAC12 选择基准电压。只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。 00b = V _{REF+} 01b = V _{REF+} 10b = V _{eREF+} 11b = V _{eREF+}
12	DAC12RES	R/W	0h	DAC12 分辨率选择。只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。 0b = 12 位分辨率 1b = 8 位分辨率
11-10	DAC12LSELx	R/W	0h	DAC12 负载选择。为 DAC12 锁存器选择负载触发器。为了 DAC 的更新，除了当 DAC12LSELx=0 时，DAC12ENC 必须被置位。只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。 00b = 在对 DAC12_xDAT 进行写入时加载 DAC12 锁存器 (忽略 DAC12ENC) 01b = 在对 DAC12_xDAT 进行写入、对其进行分组或已完成对组中所有 DAC12_xDAT 寄存器的写入时加载 DAC12 锁存器。 10b = Timer_A.OUT1 (TA1) 的上升边沿 11b = Timer_B.OUT2 (TB2) 的上升边沿
9	DAC12CALON	R/W	0h	DAC12 校准打开。该位启动 DAC12 偏移校准序列并且校准完成后，会自动复位。 0b = 校准未激活 1b = 初始化校准或校准在进行中
8 个	DAC12IR	R/W	0h	DAC12 的输入范围。该位设置基准输入和输出电压范围。只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。 0b = DAC12 满量程输出 = 基准电压的 3 倍 1b = DAC12 满量程输出 = 基准电压的 1 倍
7-5	DAC12AMPx	R/W	0h	DAC12 放大器设置。这些位为 DAC12 输入和输出放大器选择稳定时间与电流消耗。请参阅表 25-4。 只有当 DAC12ENC= 0 时，才能被修改。

表 25-3. DAC12_xCTL 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
4	DAC12DF	R/W	0h	DAC12 数据格式。只有当 DAC12ENC=0 时，才能被修改。 0b = 标准二进制 1b = 二进制补码
3	DAC12IE	R/W	0h	DAC12 中断使能 0b = 禁用 1b = 被启用
2	DAC12IFG	R/W	0h	DAC12 中断标志 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	DAC12ENC	R/W	0h	DAC12 使能转换。当 DAC12LSELx > 0 时，该位使启用 DAC12 模块。当 DAC12LSELx = 0 时，DAC12ENC 会被忽略。 0b = 禁用 DAC12 1b = 启用 DAC12
0	DAC12GRP	R/W	0h	DAC12 组。将 DAC12_x 与下一个更高的 DAC12_x 编组。不用于 DAC12_1。 0b = 未编组 1b = 已编组

表 25-4. DAC12 放大器设置

DAC12AMPx	输入缓冲器	输出缓冲器
000b	关闭	DAC12 关闭，输出高 Z
001b	关闭	DAC12 关闭，输出 0V
010b	低速低电流	低速低电流
011b	低速低电流	中速中电流
100b	低速低电流	高速高电流
101b	中速中电流	中速中电流
110b	中速中电流	高速高电流
111b	高速高电流	高速高电流

25.3.2 DAC12_xDAT 寄存器

DAC12_x 数据寄存器

图 25-8 展示了 DAC12_xDAT，表 25-5 中对此进行了介绍。

返回表 25-2。

图 25-8. DAC12_xDAT 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留				DAC12 数据			
r(0)	r(0)	r(0)	r(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
DAC12 数据							
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

表 25-5. DAC12_xDAT 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	保留	R	0h	未被使用。这些位总是 0 并且不影响 DAC12 内核。
11-0	DAC12 数据	R/W	0h	DAC12 数据。请参阅表 25-6。

表 25-6. DAC12 数据格式

DAC12 数据格式	DAC12 数据
12 位的二进制	DAC12 数据是右对齐的。位 11 是 MSB。
12 位 2 补码	DAC12 数据是右对齐的。位 11 是 MSB (符号)。
8 位的二进制	DAC12 数据是右对齐的。位 7 是 MSB。位 11-8 无关并且不会影响 DAC12 内核。
8 位 2 补码	DAC12 数据是右对齐的。位 7 是 MSB (符号)。位 11-8 无关并且不会影响 DAC12 内核。

This page intentionally left blank.



SD16_A 是一个单转换 16 位三角积分模数转换模块，它具有高阻抗输入缓冲器。本章介绍了 SD16_A 模块。
SD16_A 模块在 MSP430x20x3 器件中执行。

26.1 SD16_A 介绍	650
26.2 SD16_A 操作	652
26.3 SD16_A 寄存器	663

26.1 SD16_A 介绍

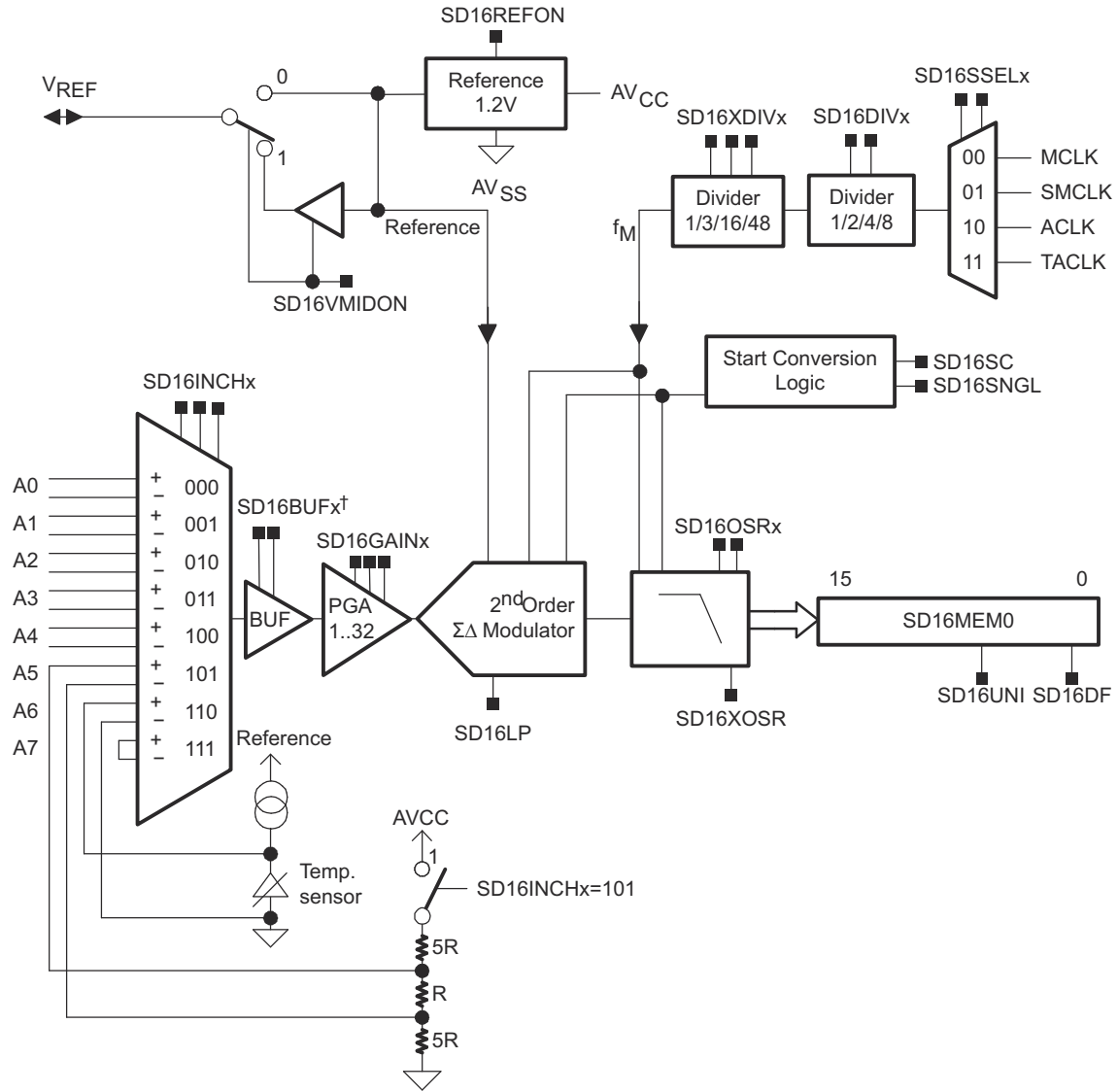
SD16_A 模块由一个三角积分模数转换器组成，此转换器带有一个高阻抗输入缓冲器和内部参考基准。它拥有多达 8 个的差分式复合输入对，并包含一个内置温度传感器和一个分电源电压。该模数转换器是基于二阶过采样的三角积分调节器和数字抽取滤波器。该抽取滤波器是一种梳状滤波器，它的过采样率是可选择的，最高可以达到 1024。额外的滤波可以用软件实现。

在 MSP430x20x3 器件中没有执行高阻抗输入缓冲。

SD16_A 的特点包括：

- 16 位三角积分结构
- 每通道多达 8 个多路复用差分模拟输入 (输入端的数量取决于器件，请参阅《器件专用数据手册》。)
- 软件可选片上基准电压生成 (1.2V)
- 软件可选内部或外部基准电压
- 内置温度传感器
- 高达 1.1MHZ 的调节器输入频率
- 高阻抗输入缓 (在所有器件上未执行，请参阅《器件专用数据表》)
- 可选低功耗转换模式

在图 26-1 中给出了 SD16_A 的模块方框图。



† Not Implemented in MSP430x20x3 devices

图 26-1. SD16_A 方框图

26.2 SD16_A 操作

SD16_A 模块用用户软件进行配置。在以下章节详细阐述了 SD16_A 的设置和操作。

26.2.1 ADC 芯片

模数转换是由一个 1 位二阶三角积分调制器执行的。调制器内的一个单个位比较器用调制器的频率 f_M 量化了输入信号。为了得出转换结果，所得的 1 位数据流被数字滤波器平均。

26.2.2 模拟输入范围和可编程增益放大器 (PGA)

每个模拟量输入对的满量程输入电压范围取决于每个通道的可编程增益放大器的增益设置。最大的满量程范围为 $\pm V_{FSR}$ ，其中 V_{FSR} 被以下内容所定义：

$$V_{FSR} = \frac{V_{REF}/2}{GAIN_{PGA}}$$

对于一个 1.2V 的基准，一个增益为 1 的最大满量程输入范围是：

$$\pm V_{FSR} = \frac{1.2 V / 2}{1} = \pm 0.6 V$$

请参阅《特定器件的满量程输入规格数据手册》。

26.2.3 基准电压发生器

SD16_A 模块有一个 1.2v 的内置基准电压可以通过 SD16REFON 位来启用它。当使用内部基准电压时，为了减少噪声，建议用一个外部 100nF 电容把 V_{REF} 连接到 AV_{SS} 。当 SD16VMIDON = 1 时，内部基准电压可以在片外使用。缓冲输出可提供高达 1mA 的驱动。当使用片外内部基准电压时，需要在 V_{REF} 至 AV_{SS} 之间接一个 470nF 的电容。详细参数请参阅《器件专用数据表》。

当 SD16REFON 和 SD16VMIDON 都复位时，外部电压可以用于 V_{REF} 输入端。

26.2.4 自动断电

SD16_A 是专为低功耗应用而设计的。当 SD16_A 不进行转换时，它就会自动关闭，而当一个转换开始时又自动重新使能。该基准不会自动禁用，但可以通过设置 SD16REFON = 0 将其禁用。当 SD16_A 或基准电压被禁止时，它们不消耗电流。

26.2.5 模拟输入对选择

SD16_A 可将多达 8 个不同的差分输入对复路到 PGA。在器件上的多达 5 个模拟输入对 (A0-A4) 对外是可用的。通过使用 A5 多路复用器输入可以使一个用于检测电源电压的电阻分压器可用。通过使用 A6 多路复用器输入可以使一个内部温度传感器可用。

A7 是 + 和 - 输入对之间的短路连接，且可用于校准 SD16A 的输入级的偏移。请注意，测得的失调电压取决于外部电路的阻抗；因此，在任何模拟输入端看到的实际失调电压可能不同。

26.2.5.1 模拟输入设置

模拟输入是通过使用 SD16INCTL0 和 SD16AE 寄存器来配置的。SD16INCHx 位选择了模拟多路复用器的 8 个不同差分输入对中的其中一个。PGA 的增益由 SD16GAINx 决定。共有 6 个增益设置可用。SD16AEx 位用于使能或禁止模拟输入引脚。设置任何 SD16AEx 位可以禁止相应引脚的复用数字电路。有关引脚图请参阅《器件专用数据表》。

在转换过程中，对 SD16INCHx 和 SD16GAINx 位的任何修改都会在下一个数字滤波器的采样周期生效。由于数字滤波器的建立时间，在这些位被修改之后，接下来的 3 次转换可能会无效。这可由 SD16INTDLYx 位自动处理。当 SD16INTDLY = 00h 时，在一个转换开始条件后，转换中断请求将在第 4 次转换时才开始。

可以通过使用 SD16BUFx 位来使能器件上正在执行的高阻抗输入缓冲。设置的速度根据 SD16A 调节器频率来选择，如在表 26-1 中所示。

表 26-1. 高输入阻抗缓冲器

SD16BUFx	缓冲器	SD16 调制器频率 f_M
00	缓冲区禁用	
01	低速/电流	$f_M < 200\text{kHz}$
10	中速/电流	$200\text{kHz} < f_M < 700\text{kHz}$
11	高速/电流	$700\text{kHz} < f_M < 1.1\text{MHz}$

建议为 SD16_A 添加一个 RC 反锯齿滤波器来防止输入信号失真。对于一个 1MHz 的调制器时钟且 OSR=256 时，截止频率应该 $< 10\text{kHz}$ 。在带宽要求较低的应用中，截止频率可以设置为一个较低频率。

26.2.6 模拟输入特性

SD16_A 使用一个开关电容输入级，该输入极对外部电路来说就如一个阻抗，如在图 26-2 中所示。

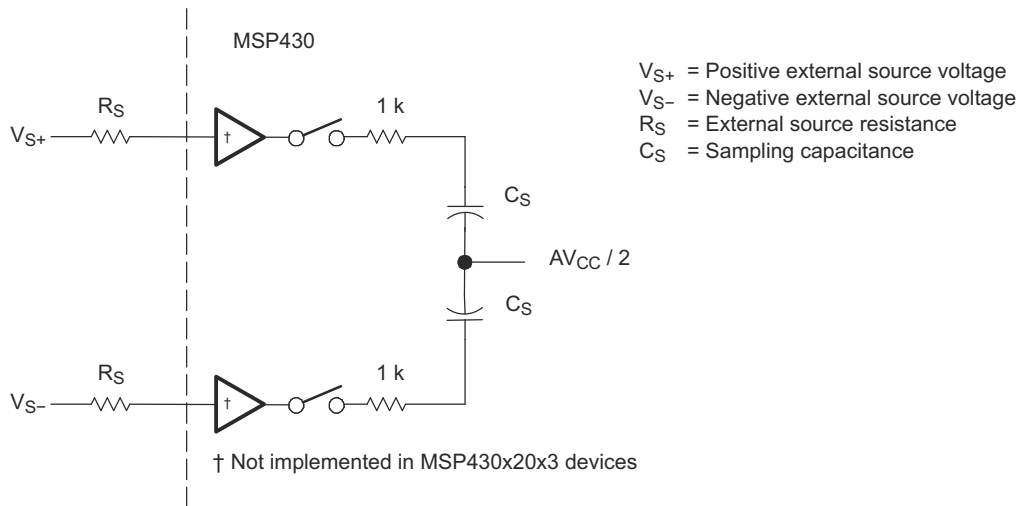


图 26-2. 模拟输入等效电路

当使用缓冲器时， R_S 不影响采样频率 f_S 。然而，当不使用缓冲器时，或器件上没有缓冲器时，最大采样频率 f_S 可以由采样电路的最小建立时间 $t_{\text{稳定时间}}$ 来计算：

$$t_{\text{Settling}} \geq (R_S + 1 \text{ k}\Omega) \times C_S \times \ln\left(\frac{\text{GAIN} \times 2^{17} \times V_{Ax}}{V_{REF}}\right)$$

其中

$$f_S = \frac{1}{2 \times t_{\text{Settling}}} \quad \text{and} \quad V_{Ax} = \max\left(\left|\frac{AV_{CC}}{2} - V_{S+}\right|, \left|\frac{AV_{CC}}{2} - V_{S-}\right|\right)$$

用 V_{S+} 和 V_{S-} 参考 AV_{SS} 。

如在表 26-2 中所示， C_S 随着增益设置变化。

表 26-2. 采样电容

PGA 增益	采样电容, C_S
1	1.25pF
2, 4	2.5pF
8	5pF
16, 32	10pF

26.2.7 数字滤波器

通过使用一个 SINC³ 梳状滤波器，数字滤波器处理来自调制器的 1 位数据流。在 z 域描述传递函数是根据：

$$H(z) = \left(\frac{1}{\text{OSR}} \times \frac{1 - z^{-\text{OSR}}}{1 - z^{-1}} \right)^3$$

和在频域中的是根据：

$$H(f) = \left[\frac{\text{sinc}\left(\text{OSR} \times \pi \times \frac{f}{f_M}\right)}{\text{sinc}\left(\pi \times \frac{f}{f_M}\right)} \right]^3 = \left[\frac{1}{\text{OSR}} \times \frac{\sin\left(\text{OSR} \times \pi \times \frac{f}{f_M}\right)}{\sin\left(\pi \times \frac{f}{f_M}\right)} \right]^3$$

其中，过采样率 OSR 是调制器频率 f_M 与采样频率 f_S 之比。图 26-3 为 32 的 OSR 展示了滤波器的频率响应。第一个滤波器陷波是在 $f_S = f_M/\text{OSR}$ 时。可以通过更改调制器的频率， f_M ，使用 SD16SSELx 和 SD16DIVx，且过采样率用 SD16OSRx 和 SD16XOSR 位来调节陷波的频率。

在采样频率为 f_S 时，每个使能的 ADC 通道的数字滤波器完成数字位流的采样，并输出新的转换结果到 SD16MEM0 寄存器。

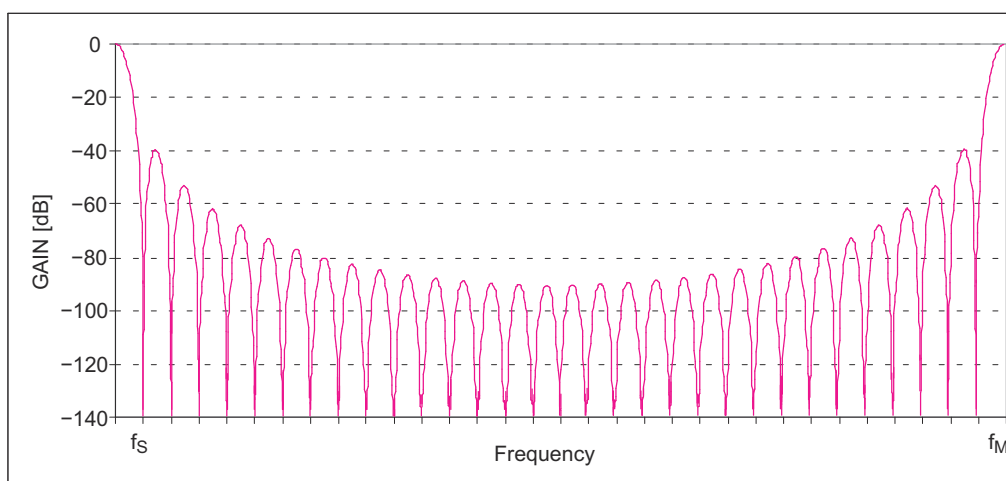


图 26-3. 梳状滤波器的频率响应，OSR = 32

图 26-4 给出了数字滤波器的阶跃响应及转换点。在开始转换后，对于在输入端的阶跃变化，必须在获得一个有效转换结果之前提供一段建立时间。SD16INTDLYx 位可以为 ADC 输入的一个满量程变化提供足够的滤波建立时间。如果阶跃和数字滤波器的采样同时进行，则有效数据会在第 3 次转换时可用。在有效数据可用之前，异步步骤将需要一个额外的转换。

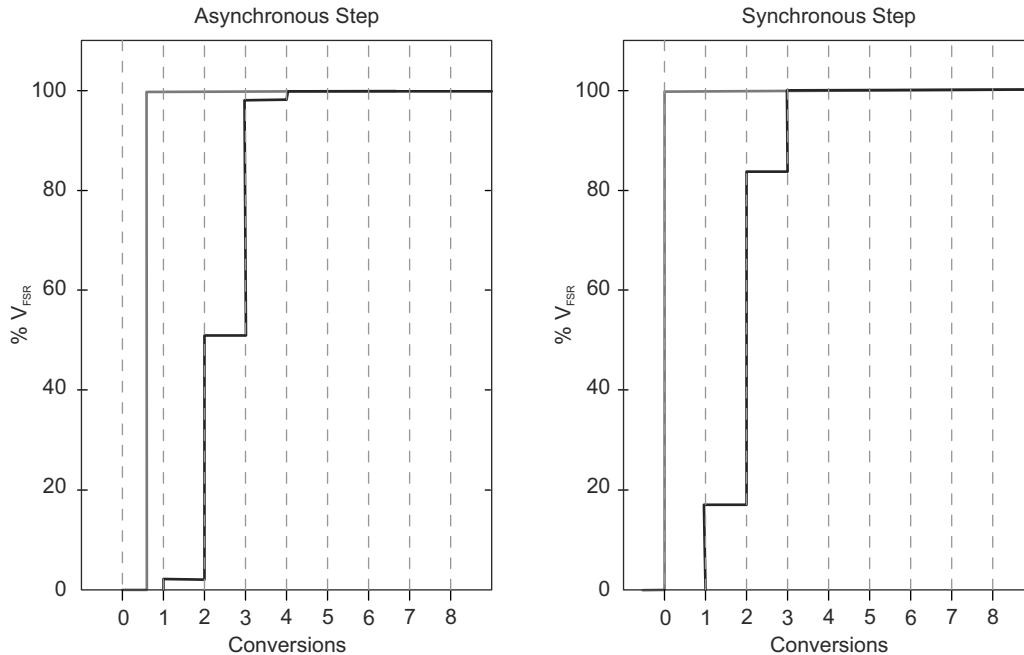


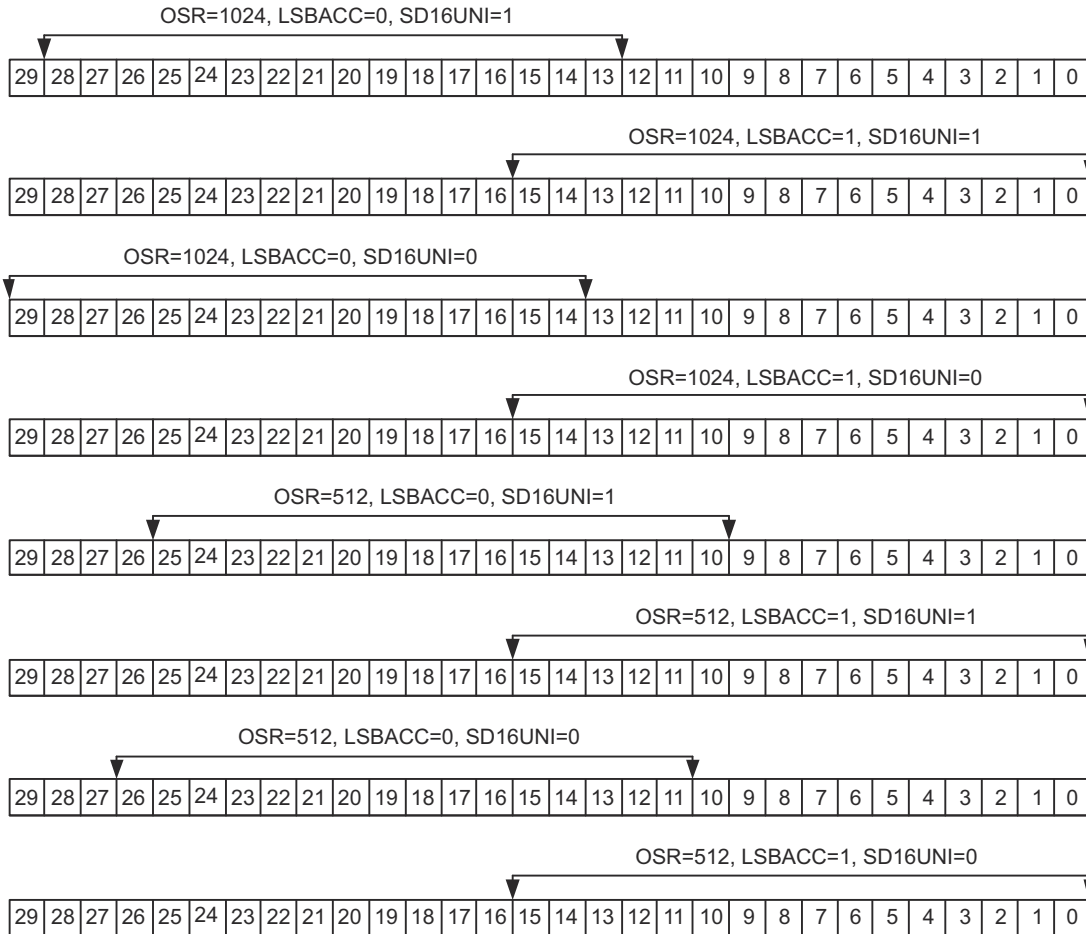
图 26-4. 数字滤波器的阶跃响应和转换点

26.2.7.1 数字滤波器输出

数字滤波器输出的位数取决于过采样率，其范围为 15 至 30 位。图 26-5 给出了数字滤波器输出和在每个 OSR，LSBACC，和 SD16UNI 设置下，它们与 SD16MEM0 的关系。例如，对于 OSR=1024，LSBACC = 0，和 SD16UNI = 1，SD16MEM0 寄存器包含了数字滤波器输出的第 28 至 13 位。当 OSR= 32 时，1 个 (SD16UNI = 0) 或 2 个 (SD16UNI=1) LSB 总是为 0。

SD16LSBACC 和 SD16LSBTOG 位允许访问数字滤波器输出的最低有效位。当 SD16LSBACC = 1 时，通过用字指令，数字滤波器的输出的最低有效位 16 位可以从 SD16MEM0 读出。通过只返回数字滤波器输出的最低有效位 8 位，也可以通过字节指令访问 SD16MEM0 寄存器。

当 SD16LSBTOG = 1 时，每次读取 SD16MEM0 时都会自动触发 SD16LSBACC 位。这就使得数字滤波器的输出结果可以通过 2 次读取 SD16MEM0 来获得。在下次 SD16MEM0 访问前，置位或复位 SD16LSBTOG 并不会改变 SD16LSBACC。



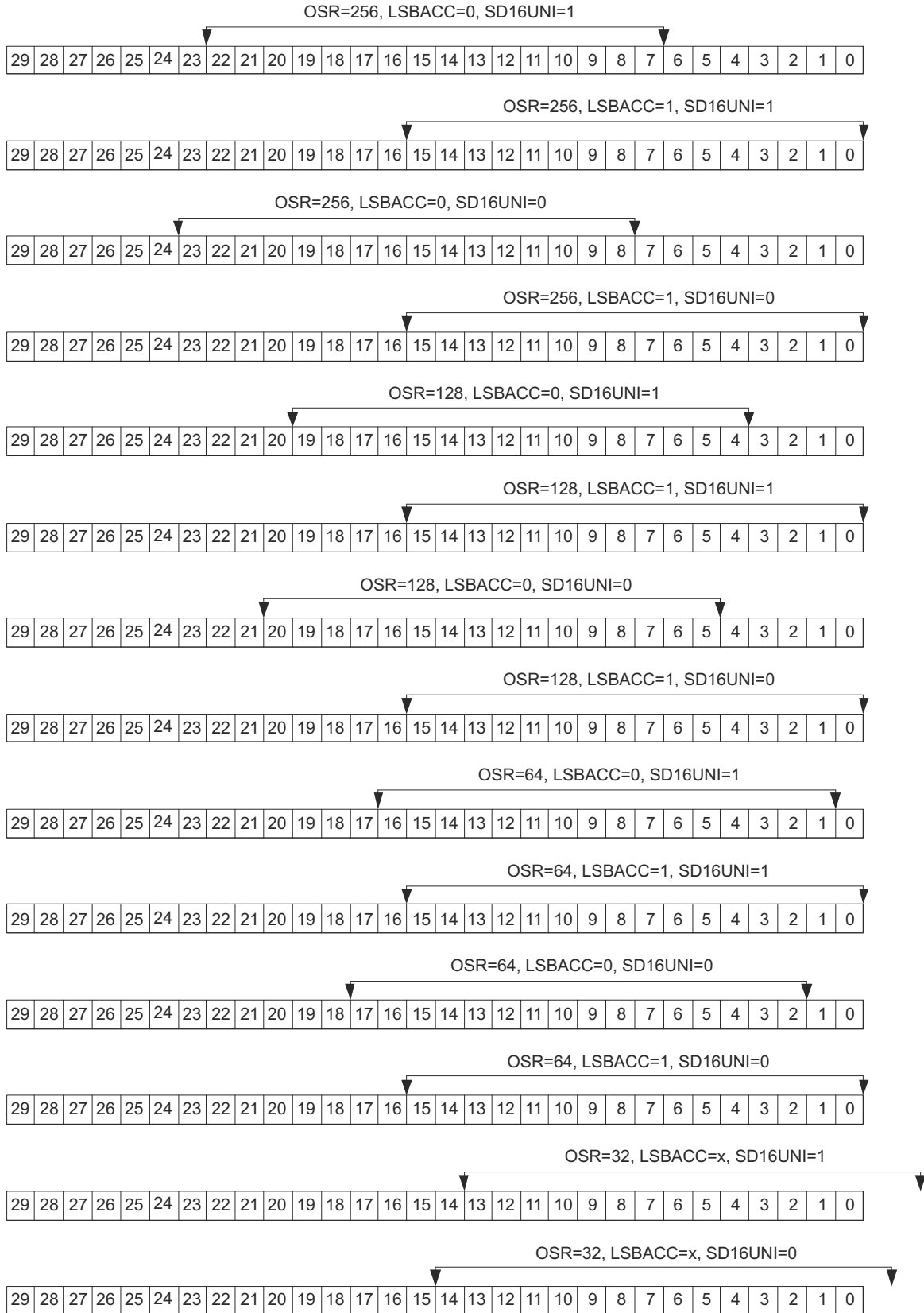


图 26-5. 已使用位的数字滤波器输出

26.2.8 转换存储器寄存器：SD16MEM0

SD16MEM0 寄存器和 SD16_A 通道相关联。转换结果随着数字滤波器的每次采样阶跃被转移到 SD16MEM0 寄存器中。当新数据被写入 SD16MEM0 时，SD16IFG 位就会被置位。当 SD16MEM0 被 CPU 读取或被软件清除时，SD16IFG 会被自动清零。

26.2.8.1 输出数据格式

输出数据格式被配置为 2 的补码、偏移二进制或单极性模式，如在表 26-3 中所示。数据格式由 SD16DF 和 SD16UNI 位来选择。

表 26-3. 数据格式

SD16UNI	SD16DF	Format	模拟输入	SD16MEM0 ⁽¹⁾	数字滤波器输出 (OSR = 256)
0	0	双极性偏移二进制	+FSR	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用	FFFFFF
			零	8000	800000
			-FSR	0000	000000
0	1	双极性二补码	+FSR		7FFFFF
			零	0000	000000
			-FSR	8000	800000
1	0 Ω	单极性	+FSR	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用	FFFFFF
			零	0000	800000
			-FSR	0000	000000

(1) 不受 SD16OSRx 和 SD16XOSR 设置的影响；SD16LSBACC = 0。

备注

失调电压测量和数据格式

只有当 SD16UNI = 0、通道在双极性模式下运行时，任何已完成的外部偏移测量或使用内部差分对 A7 才将是适当的。

图 26-6 给出了范围为 $-V_{FRS}$ 至 $+V_{FRS}$ 的满量程输入电压和转换结果之间的关系。给出了数据格式。

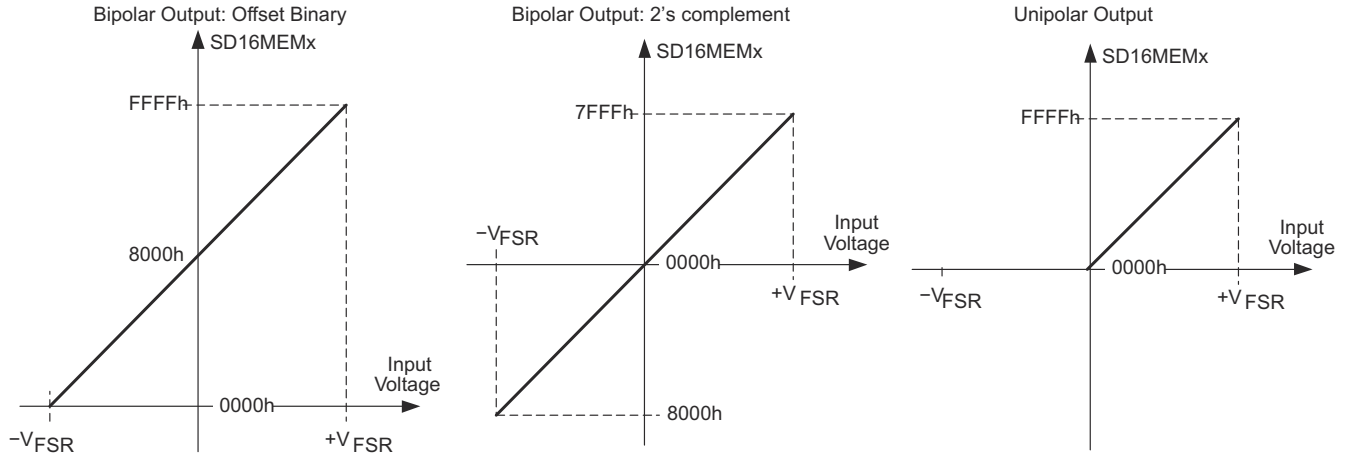


图 26-6. 输入电压与数字输出

26.2.9 转换时间

SD16_A 模块可以被配置为两种操作模式，在表 26-4 中列出了这两种模式。SD16SNGL 位选择了转换模式。

表 26-4. 转换模式汇总

SD16SNGL	模式	运行
1	单次转换	该通道被转换一次。
0	连续转换	通道被连续转换。

26.2.9.1 单一转换

当 SD16SNGL = 1 时，设置通道的 SD16SC 位会在该通道上启动一次转换。SD16SC 位在转换结束后会自动清零。

在转换完成之前清除 SD16SC 会立即停止该通道的转换，该通道会被断电并且相应的数字滤波器也会被关闭。SD16MEM0 的值在 SD16SC 被清除时可能会变化。因此建议在清除 SD16SC 前读取 SD16MEM0 值，以避免读到一个无效的结果。

26.2.9.2 连续转换

当 SD16SNGL = 0 时，连续转换模式将会被选择。当 SD16SC 被置位时，该通道的转换开始，并连续转换到 SD16SC 位被软件清零。

清零 SD16SC 会立刻停止所选通道的转换，该通道会被断电，且相应的数字滤波器也会被关闭。SD16MEM0 中的值在 SD16SC 被清零时可能会变化。为了避免读到一个无效的结果，建议在清零 SD16SC 前读取 SD16MEM0 值。

图 26-7 给出了转换操作。

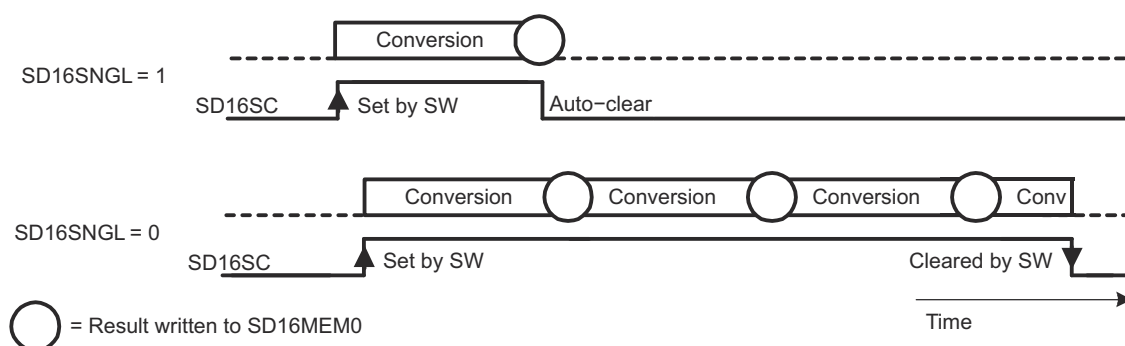


图 26-7. 单通道操作

26.2.10 使用集成温度传感器

若要使用片上温度传感器，用户需选择模拟输入对 SD16INCHx = 110 并设置 SD16REFON = 1。任何其他的配置都和外部模拟输入对一样被选择，包括 SD16INTDLYx 和 SD16GAINx 的设置。因为为了使用温度传感器，内部基准电压时必须打开，因此不能使用一个外部基准电压作为温度传感器电压的转换。并且，内部基准电压会和任何使用的外部基准电压发生争用。在这种情况下，为了最小化转换中争用的影响，可以设置 SD16VMIDON 位。

这种典型的温度传感器传递函数如图 26-8 所示。当把一个 SD16_A 通道的输入转换为温度传感器时，必须使用 SD16INTDLYx 提供适当的延时，以便允许数字滤波器建立和保证转换结果的正确性。在大多数应用中，温度传感器误差偏移可能较大，但可以校准。有关温度传感器参数请参阅《特定器件的数据手册的》。

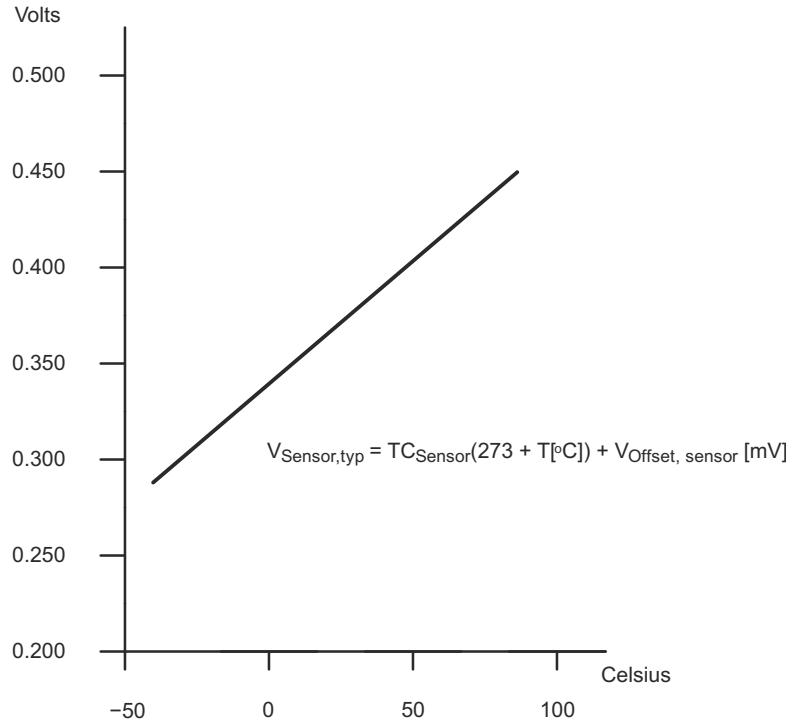


图 26-8. 典型的温度传感器传输函数

26.2.11 中断处理

它的 ADC 通道的 SD16_A 有 2 个中断源：

- SD16IFG
- SD16OVIFG

当 SD16MEM0 存储寄存器写入转换结果时，SD16IFG 位被设置。如果相应的 SD16IE 位和 GIE 位都被设置，就会产生一个中断请求。当在前一个结果被读取之前，新的转换结果写入 SD16MEM0 时，SD16_A 就会发生溢出状况。

26.2.11.1 SD16IV，中断向量发生器

所有的 SD16_A 中断源都被优先化，并被连接到一个中断向量上。SD16IV 被用于确定哪一个使能的 SD16_A 中断源请求了一个中断。被启用的最高优先级 SD16_A 的中断请求在 SD16IV 寄存器中产生一个数字（请参见寄存器描述）。该数字可以被估计，或被添加到程序计数器中以便自动进入相应的软件程序。禁用 SD16-A 的中断不影响 SD16IV 的值。

任何对 SD16IV 寄存器的访问，读取或写入均不会影响到 SD16OVIFG 或 SD16IFG 的标志。通过读取 SD16MEM0 寄存器或清零软件中的标志可以复位 SD16IFG 标志。SD16OVIFG 位只能由软件复位。

如果在服务一个中断后另一个中断挂起，就会产生另外一个中断。例如，当中断服务子程序访问 SD16IV 寄存器时，如果 SD16OVIFG 和一个或多个 SD16IFG 中断被挂起，会首先响应 SD16OVIFG 中断条件，并且相应的标志必须用软件清除。在执行完中断子程序的 RETI 指令后，最高优先级 SD16IFG 的挂起会生成另一个中断请求。

26.2.11.2 中断延时操作

SD16INTDLYx 位控制为相应通道的第一次中断服务请求定时。为了在产生一个中断请求之前允许数字滤波器建立，该功能把一次完整的转换中中断请求延迟了多达 4 个转换周期。每次 SD16SC 被置位或当通道的 SD16GAINx 或 SD16INCHx 位被修改时就会发生延迟。SD16INTDLYx 会为通道所选择的延时周期数禁止溢出中断的产生。在延时期间，延时转换的中断请求不会产生中断。

26.3 SD16_A 寄存器

表 26-5 列出了 SD16_A 的存储器映射寄存器。

表 26-5. SD16_A 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
100h	SD16CTL	SD16_A 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.2
102h	SD16CCTL0	SD16_A 通道 0 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.3
112h	SD16MEM0	SD16_A 转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.4
B0h	SD16INCTL0	SD16_A 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.5
B7h	SD16AE	SD16_A 的模拟使能	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.6
110h	SD16IV	SD16_A 中断向量	读取/写入	PUC 后为 00h	节 26.3.7

26.3.1 SD16CTL 寄存器

SD16_A 控制寄存器

图 26-9 展示了 SD16CTL，表 26-6 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-9. SD16CTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留				SD16XDIVx			SD16LP
r0	r0	r0	r0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD16DIVx		SD16SSELx		SD16VMIDON	SD16REFON	SD16OVIE	保留
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r0

表 26-6. SD16CTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	保留	R	0h	
11-9	SD16XDIVx	R/W	0h	SD16_A 时钟分频器 000b = /1 001b = /3 010b = /16 011b = /48 1xxb = 保留
8	SD16LP	R/W	0h	低功耗模式。该位选择低速低功耗模式。 0b = 禁用低功耗模式 1b = 启用低功耗模式。SD16_A 的最大时钟频率被降低。
7-6	SD16DIVx	R/W	0h	SD16_A 时钟分频器 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
5-4	SD16SSELx	R/W	0h	SD16_A 时钟源选择 00b = MCLK 01b = SMCLK 10b = ACLK 11b = 外部 TACLK
3	SD16VMIDON	R/W	0h	VMID 缓冲在 0b = 关闭 1b = 打开
2	SD16REFON	R/W	0h	基准发电机在 0b = 基准关闭 1b = 基准打开
1	SD16OVIE	R/W	0h	SD16_A 溢出中断使能。为了启用中断，必须把 GIE 位也置位。 0b = 禁用溢出中断 1b = 使能溢出中断
0	保留	R	0h	

26.3.2 SD16CCTL0 寄存器

SD16_A 通道 0 控制寄存器

图 26-10 展示了 SD16CCTL0，表 26-7 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-10. SD16CCTL0 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留	SD16BUFx ⁽¹⁾		SD16UNI	SD16XOSR	SD16SNGL	SD16OSRx	
r0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD16LSBTOG	SD16LSBACC	SD16OVIFG	SD16DF	SD16IE	SD16IFG	SD16SC	保留
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r-0

(1) 被保留在 MSP430x20x3 器件中。

表 26-7. SD16CCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	保留	R	0h	
14-13	SD16BUFx ⁽¹⁾	R/W	0h	高阻抗输入缓冲模式。被保留在 MSP430x20x3 器件中。 00b = 禁用缓冲器 01b = 低速低电流 10b = 中速中电流 11b = 高速高电流
12	SD16UNI	R/W	0h	单极性模式选择 0b = 双极模式 1b = 单极模式
11	SD16XOSR	R/W	0h	已扩展的过采样率。该位，与 SD16OSRx 位一起，选择过采样率。 有关设置请参阅《SD16OSRx 位说明》。
10	SD16SNGL	R/W	0h	单次转换模式选择 0b = 连续转换模式 1b = 单次转换模式
9-8	SD16OSRx	R/W	0h	过采样率 当 SD16XOSR = 0 时 00b = 256 01b = 128 10b = 64 11b = 32 当 SD16XOSR = 1 时 00b = 512 01b = 1024 10b = 被保留 11b = 保留

表 26-7. SD16CCTL0 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
7	SD16LSBTOG	R/W	0h	LSB 触发。该位，当置位时，每当读取 SD16MEM0 寄存器时都会引起 SD16LSBACC 触发。 0b = SD16LSBACC 不在每次 SD16MEM0 读取时切换 1b = SD16LSBACC 在每次 SD16MEM0 读取时切换
6	SD16LSBACC	R/W	0h	LSB 访问。该位允许访问高于或低于 SD16_A 转换结果的 16 位。 0b = SD16MEMx 包含转换的 16 个最高有效位。 1b = SD16MEMx 包含转换的 16 个最低有效位。
5	SD16OVIFG	R/W	0h	SD16_A 溢出中断标志 0b = 无溢出中断待处理 1b = 溢出中断待处理
4	SD16DF	R/W	0h	SD16_A 的数据格式 0b = 偏移二进制 1b = 二进制补码
3	SD16IE	R/W	0h	SD16_A 的中断使能 0b = 禁用 1b = 被启用
2	SD16IFG	R/W	0h	SD16_A 的中断标志。当新的转换结果可用时，可置位 SD16IFG 位。当相应的 SD16MEMx 寄存器被读取或被软件清零时，SD16IFG 自动复位。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	SD16SC	R/W	0h	SD16_A 开始转换 0b = 无转换开始 1b = 开始转换
0	保留	R	0h	

26.3.3 SD16MEM0 寄存器

SD16_A 转换存储器寄存器

图 26-11 展示了 SD16MEM0，表 26-8 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-11. SD16MEM0 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
转换结果							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
转换结果							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 26-8. SD16MEM0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	转换结果	R	0h	转换结果。SD16MEMx 寄存器是否保持数字滤波器输出的高于或低于 16 位是由 SD16LSBACC 位决定的。

26.3.4 SD16INCTL0 寄存器

SD16_A 输入控制寄存器

图 26-12 展示了 SD16INCTL0，表 26-9 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-12. SD16INCTL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD16INTDLYx		SD16GAINx			SD16INCHx		
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 26-9. SD16INCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	SD16INTDLYx	R/W	0h	转换开始后产生的中断延迟。这些位选择转换开始后的第一个中断延迟。 00b = 第四个样本引起中断 01b = 第三个采样引起中断 10b = 第二个采样引起中断 11b = 第一个采样引起中断
5-3	SD16GAINx	R/W	0h	SD16_A 前置放大器的增益 000b = ×1 001b = ×2 010b = ×4 011b = ×8 100b = ×16 101b = ×32 110b = 保留 111b = 保留
2-0	SD16INCHx	R/W	0h	SD16_A 的通道差分对输入 000b = A0 001b = A1 010b = A2 011b = A3 100b = A4 101b = A5, (AV _{CC} - AV _{SS})/11 110b = A6, 温度传感器 111b = A7, 用于 PGA 失调电压测量的短接

26.3.5 SD16AE 寄存器

SD16_A 模拟使能寄存器

图 26-13 展示了 SD16AE，表 26-10 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-13. SD16AE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD16AE7	SD16AE6	SD16AE5	SD16AE4	SD16AE3	SD16AE2	SD16AE1	SD16AE0
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 26-10. SD16AE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	SD16AE7	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 7 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
6	SD16AE6	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 6 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
5	SD16AE5	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 5 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
4	SD16AE4	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 4 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
3	SD16AE3	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 3 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
2	SD16AE2	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 2 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
1	SD16AE1	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 1 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。
0	SD16AE0	R/W	0h	SD16_A 模拟使能 0 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入。

26.3.6 SD16IV 寄存器

SD16_A 中断向量寄存器

图 26-14 展示了 SD16IV，表 26-11 中对此进行了介绍。

返回表 26-5。

图 26-14. SD16IV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
SD16IVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD16IVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 26-11. SD16IV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	SD16IVx	R	0h	SD16_A 中断向量值。请参阅表 26-12。

表 26-12. SD16_A 中断向量

SD16IV 内容	中断源	中断标志	中断优先级
000h	无中断挂起	-	
002h	SD16MEMx 溢出	SD16CCTLx SD16OVIFG	最高
004h	SD16_A 的中断	SD16CCTL0 SD16IFG	
006h	保留	-	
008h	保留	-	
00Ah	保留	-	
00Ch	保留	-	
00Eh	保留	-	
010h	保留	-	最低



SD24_A 模块是一个多通道 24 位积分三角模数转换器 (ADC)。本章介绍了 MSP430x2xx 系列中的 SD24_A。

27.1 SD24_A 介绍.....	672
27.2 SD24_A 的操作.....	674
27.3 SD24_A 寄存器.....	688

27.1 SD24_A 介绍

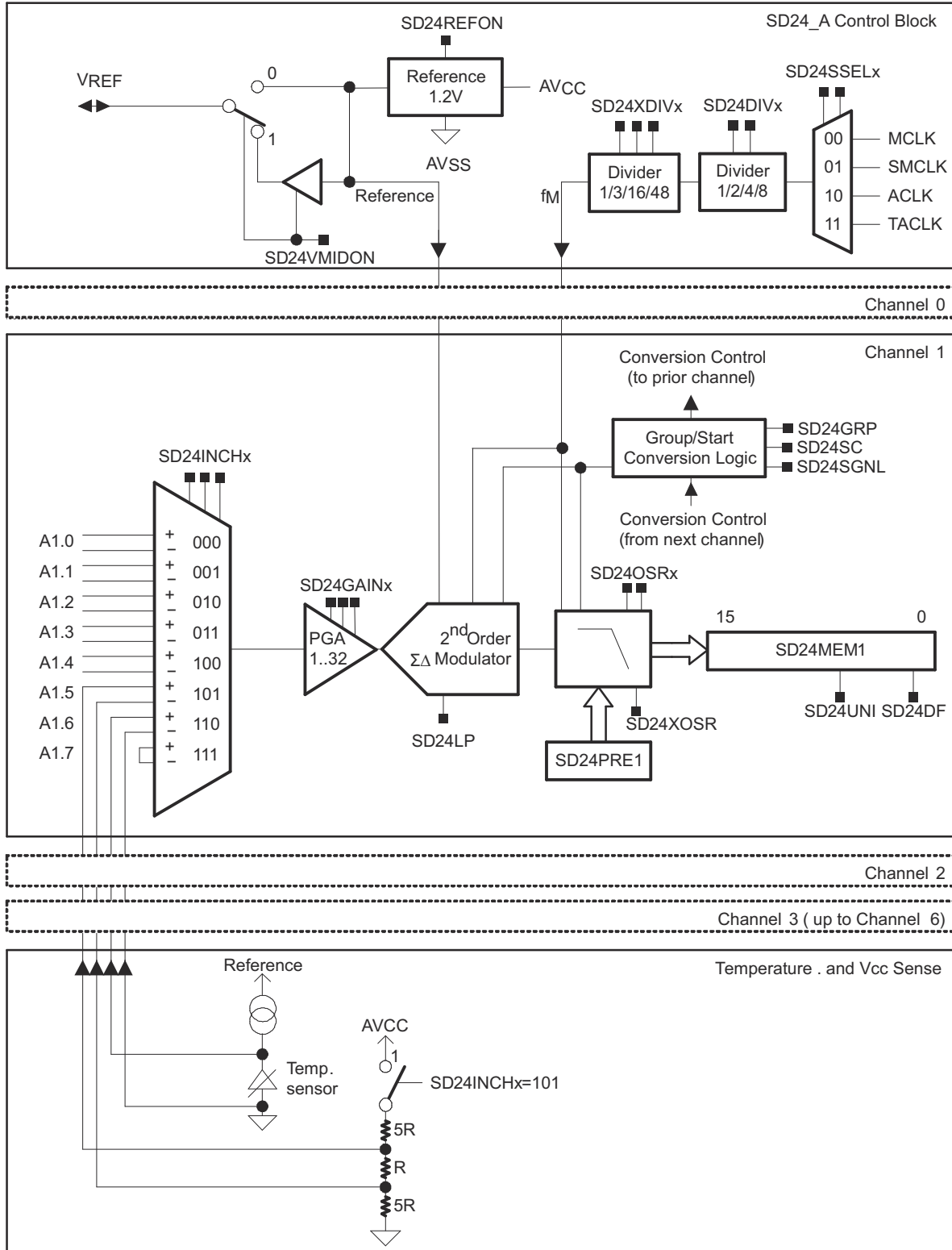
SD24_A 模块由多达七个独立的积分三角模数转换器和一个内部基准电压组成，其中模数转换器简称为通道。每个通道都具有多达 8 个全差分多路复用模拟输入对，该模拟输入对包括一个内置的温度传感器和一个分割电源电压。该转换器是基于二阶过采样 Σ - Δ 调制器和数字抽取滤波器的。抽取滤波器是带有可选的过采样率高达 1024 的梳型过滤器。额外的滤波电路可在软件中完成。

基于过采样率，SD24_A 的数字滤波器输出范围可以从 15 位达到 30 位。默认的过采样率是 256，这将导致从数字滤波器中输出 24 位。可在 SD24_A 转换存储寄存器中捕获滤波器的 16 个最高有效位，并通过设置 SD24LSBACC=1，可以读取滤波器输出的 16 个最低有效位（更多细节请参阅节 27.2.7）。

SD24_A 的特性包括：

- 多达 7 个独立的、同步采样 ADC 通道（通道数与设备有关，请参阅《特定器件的数据手册》）。
- 多达 8 个多路复用、每通道差分模拟输入端（输入端的数量与器件有关，请参阅特定器件的数据手册）。
- 可选的片上软件参考电压产生 (1.2 V)
- 可用软件的内部或外部参考
- 内置所有通道都可用的温度传感器
- 高达 1.1MHz 的调制器输入频率
- 高阻抗输入缓冲器（未实现在所有器件上实施，请参阅《特定器件的数据手册》）。
- 可选低功率转换模式

在图 27-1 展示了 SD24_A 模块框图。



A. Ax.1 到 Ax.4 并不适用于所有设备。请参阅特定器件的数据手册。

图 27-1. SD24_A 模块框图

27.2 SD24_A 的操作

SD24_A 模块被配置为带有用户的软件。在下面的章节中讨论了 SD24_A 的设置和操作。

27.2.1 ADC 芯片

模数转换是由一个 1 位二阶三角积分调制器执行的。调制器内的一个单个位比较器用调制器的频率 f_M 量化了输入信号。为了得出转换结果，所得的 1 位数据流被数字滤波器平均。

27.2.2 模拟输入范围和可编程增益放大器 (PGA)

每个模拟量输入对的满量程输入电压范围取决于每个通道的可编程增益放大器的增益设置。最大的满量程范围为 $\pm V_{FSR}$ ，其中 V_{FSR} 被以下内容所定义：

$$V_{FSR} = \frac{V_{REF}/2}{GAIN_{PGA}}$$

对于一个 1.2V 的基准，一个增益为 1 的最大满量程输入范围是：

$$\pm V_{FSR} = \frac{1.2 \text{ V}/2}{1} = \pm 0.6 \text{ V}$$

请参阅《特定器件的满量程输入规格数据手册》。

27.2.3 基准电压发电机

SD24_A 模块具有一个内置的 1.2V 基准。它可以用于每个 SD24_A 通道且可由 SD24REFON 位使能。当使用内部基准电压时，为了减少噪音，建议把一个外部 100nF 电容从 V 连接到 AV_{SS}。当 SD24VMIDON = 1 时，内部基准电压可以在片外使用。缓冲输出可提供高达 1mA 的驱动。当使用内部片外基准电压，需要把一个 470nF 电容从 V_{REF} 连接到 AV_{SS}。请参阅《特定器件的数据手册的参数》。

当 SD24REFON 和 SD24VMIDON 都被复位时，可把外部参考电压应用到 V_{REF} 输入。

27.2.4 自动断电

设计 SD24_A 专用于低功耗应用。当 SD24_A 不进行转换时，它会自动禁用，当换开始时，它会自动重新启用。该基准不会自动禁用，但可以通过设置 SD24REFON = 0 将其禁用。SD24_A 或基准被禁用时，不消耗电流。

27.2.5 模拟输入对的选择

SD24_A 可以将最多 8 个差分对输入复用到 PGA 中。在器件上可对外使用多达 5 个模拟输入对 (A0~A4)。可通过 A5 多路调制器输入来使用一个测量供电电压的电阻分压器。可通过 A6 多路复用器输入来使用内部温度传感器。

输入端 A7 是一个 + 和 - 输入对之间的短路连接，且可以用于校准 SD24_A 输入级的偏移量。请注意，测得的失调电压取决于外部电路的阻抗；因此，在任何模拟输入端看到的实际失调电压可能不同。

27.2.5.1 模拟输入设置

使用 SD24INCTLx 寄存器来配置每个通道的模拟输入端。可以为每个 SD24_A 通道独立地配置这些设置。

SD24INCHx 位选择了模拟多路复用器的 8 个差分输入对的其中之一。由 SD24GAINx 位为每个 PGA 选择增益。共有 6 个增益设置可用。

在某些设备上 SD24AEx 位可启用或禁用模拟输入引脚。设置任何 SD24AEx 位都会禁用关联引脚的复用数字电路。有关引脚图请参阅《特定器件数据手册》。

在转换过程中，对 SD24INCHx 和 SD24GAINx 位的任何修改都将使下一个数字滤波器的抽取步骤变得有效。这些位被修改之后，由于数字滤波器的建立时间，接下来的三个转换可能是无效的。这可以用 SD24INTDLYx 位进行自动处理。当 SD24INTDLY=00H 时，转换中断请求直到一个起始条件后的第四转换才会开始。

可通过使用 SD24BUFx 位来使能在器件上实施的高阻抗输入缓冲。如在表 27-1 中所示，基于 SD24_A 调制器频率的速度设置是可选的。

表 27-1. 高输入阻抗缓冲器

SD24BUFx	缓冲器	SD24 调制器频率, f_M
00	缓冲区禁用	
01	低速/电流	$f_M < 200\text{kHz}$
10	中速/电流	$200\text{kHz} < f_M < 700\text{kHz}$
11	高速/电流	$700\text{kHz} < f_M < 1.1\text{MHz}$

为了防止输入信号混叠，建议为 SD24_A 安装一个外部 RC 抗混叠滤波器。1MHz 的调制器时钟的截止频率应该小于 10kHz，且 $OSR = 256$ 。截止频率可能会调到有较低带宽需求的应用程序的一个较低频率。

27.2.6 模拟输入特性

SD24_A 使用了一个开关电容器输入级，该输入极被作为一个显示到外部电路的阻抗，如图 27-2 所示。

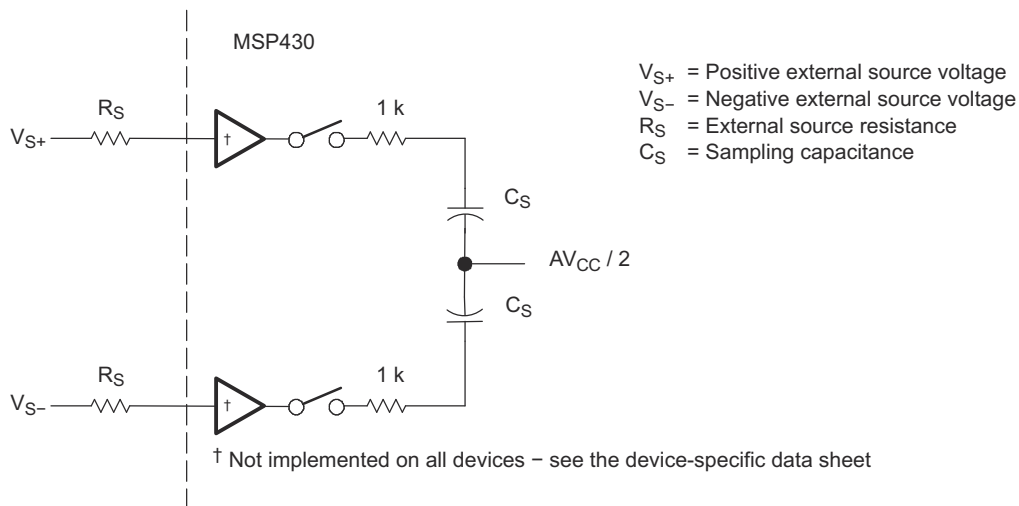


图 27-2. 模拟输入等效电路

当使用缓冲器时， R_S 不影响采样频率 f_S 。然而，当不使用缓冲器或在设备上没有缓冲器时，最大调制器频率 f_M 可以由采样电路的最小建立时间 $t_{\text{建立时间}}$ 根据以下公式计算：

$$t_{\text{Settling}} \geq (R_S + 1 \text{ k}\Omega) \times C_S \times \ln \left(\frac{\text{GAIN} \times 2^{17} \times V_{A_x}}{V_{\text{REF}}} \right)$$

其中，

$$f_M = \frac{1}{2 \times t_{\text{Settling}}} \quad \text{and} \quad V_{A_x} = \max \left(\left| \frac{AV_{CC}}{2} - V_{S+} \right|, \left| \frac{AV_{CC}}{2} - V_{S-} \right| \right)$$

用 V_{S+} 和 V_{S-} 参考 AV_{SS} 。

如在表 27-2 中所示， C_S 随着增益设置变化。

表 27-2. 采样电容

PGA 增益	采样电容 (C_S)
1	1.25pF
2, 4	2.5pF
8	5pF
16, 32	10pF

27.2.7 数字滤波器

通过使用一个 SINC^3 梳状滤波器，数字滤波器处理来自调制器的 1 位数据流。在 z 域描述传递函数是根据：

$$H(z) = \left(\frac{1}{\text{OSR}} \times \frac{1 - z^{-\text{OSR}}}{1 - z^{-1}} \right)^3$$

和在频域中的是根据：

$$H(f) = \left[\frac{\text{sinc} \left(\text{OSR} \times \pi \times \frac{f}{f_M} \right)}{\text{sinc} \left(\pi \times \frac{f}{f_M} \right)} \right]^3 = \left[\frac{1}{\text{OSR}} \times \frac{\sin \left(\text{OSR} \times \pi \times \frac{f}{f_M} \right)}{\sin \left(\pi \times \frac{f}{f_M} \right)} \right]^3$$

其中，过采样率 OSR 是调制器频率 f_M 与采样频率 f_S 之比。图 27-3 为 32 的 OSR 显示了滤波器的频率响应。第一个滤波器陷波是在 $f_S = F_M / \text{OSR}$ 。可以通过改变调制器的频率，使用 SD24SSELx 和 SD24DIVx 以及使用 SD24OSRx 和 SD24XOSR 位的过采样率来调整陷波频率， f_M 。

每个启用的 ADC 通道的数字滤波器完成了抽取的数字位流，并在采样频率为 f_S 时把新的转换结果输入到相应的 SD24MEMx 寄存器中。

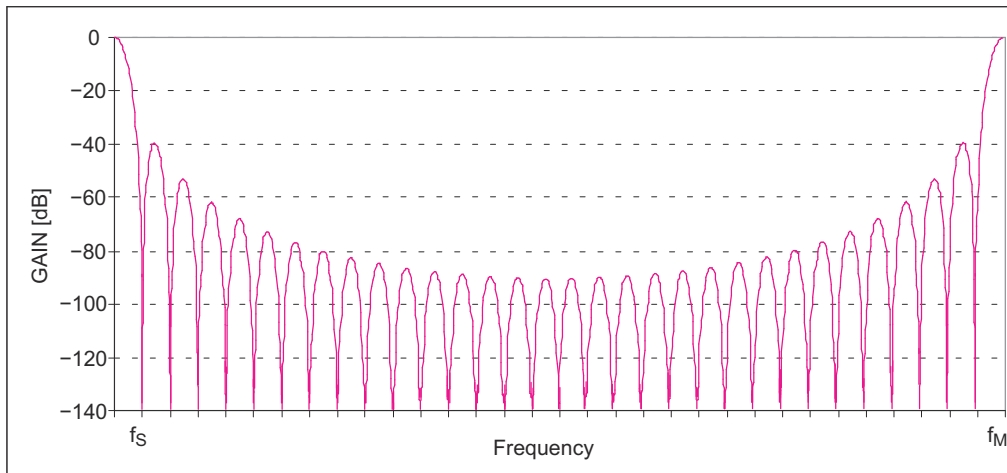


图 27-3. OSR= 32 的梳状滤波器的频率响应

图 27-4 给出了数字滤波器的阶跃响应及转换点。对于转换开始后的在输入端的阶跃变化，在一个有效的转换结果可用之前，必须允许一个建立时间。SD24INTDLYx 位可以为在 ADC 输入端的满量程变化提供足够的滤波器建立时间。如果该步骤发生与数字滤波器的抽取同步，则有效数据将在第三个转换上可用。在有效数据可用之前，异步步骤将需要一个额外的转换。

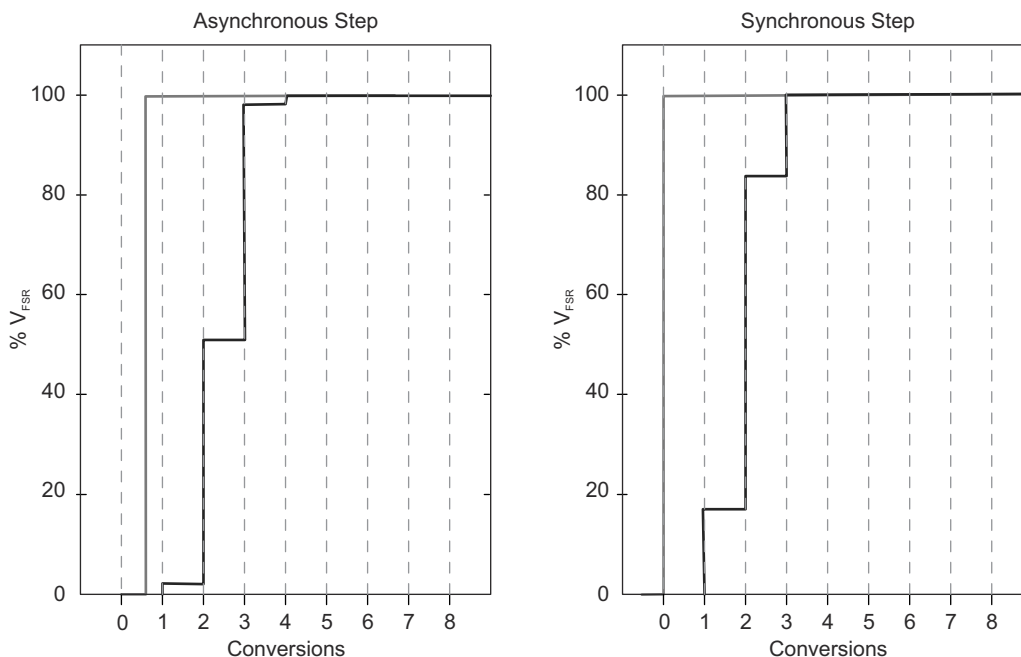


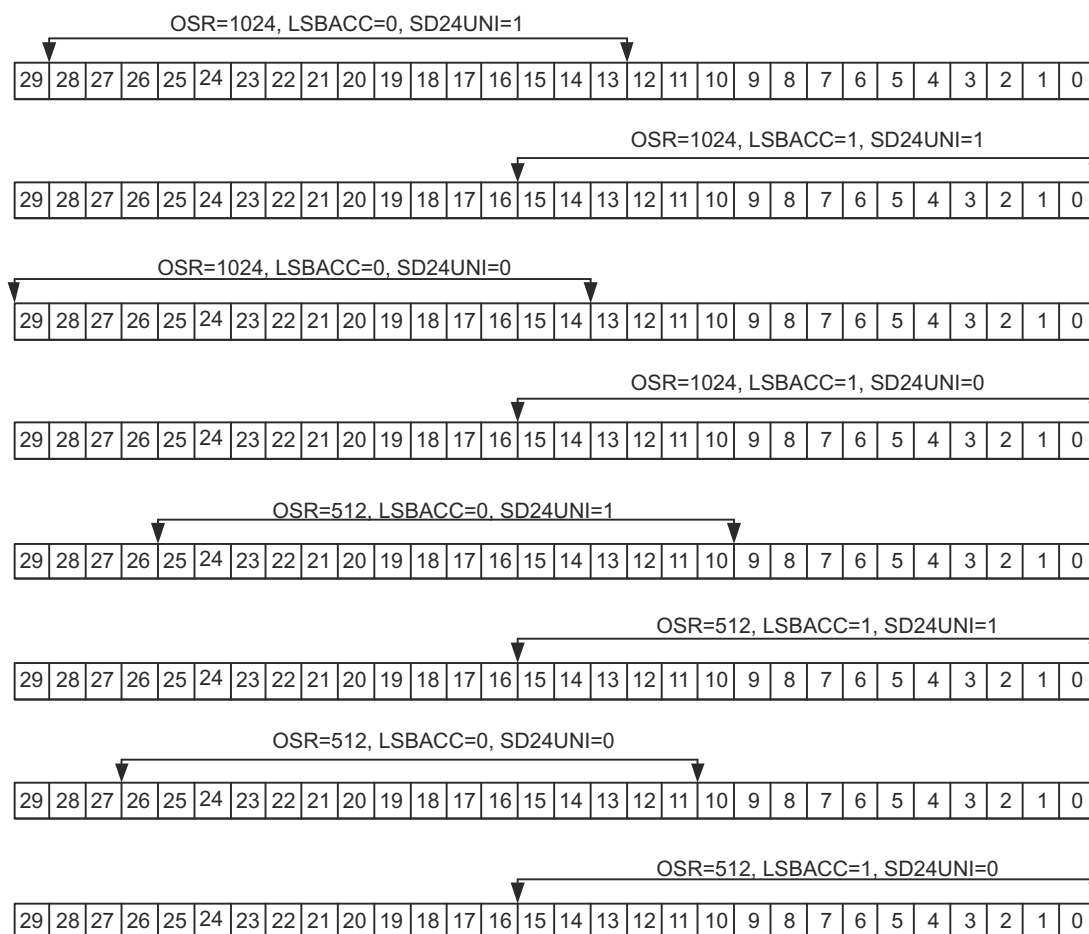
图 27-4. 数字滤波器的阶跃响应和转换点

27.2.7.1 数字滤波器输出

数字滤波器输出的位数取决于过采样率，其范围为 15 至 30 位。图 27-5 为每个 OSR，LSBACC，和 SD24UNI 设置给出了数字滤波器输出以及滤波器与 SD24MEMx 的关系。例如，对于 OSR= 1024，LSBACC= 0，和 SD24UNI= 1，SD24MEMx 寄存器包含数字滤波器输出的位 28 至位 13。当 OSR =32 时，一个 (SD24UNI= 0) 或 2 个 LSB (SD24UNI= 1) 始终为零。

SD24LSBACC 和 SD24LSBTOG 位给出了数字滤波器输出的最少有效位的访问权限。当 SD24LSBACC=1 时，通过使用字指令，数字滤波器的输出端的 16 个最低有效位可被 SD24MEMx 读取。通过只返回数字滤波器输出的 8 个最低有效位，可以用字节指令访问 SD24MEMx 寄存器。

当 SD24LSBTOG= 1 时，每次读取 SD24MEMx 都会自动切换 SD24LSBACC 位。这就使得完整的数字滤波器的输出结果被 SD24MEMx 的两次读取所读取。直到下一个 SD24MEMx 开始访问，设置或清零 SD24LSBTOG 才会改变 SD24LSBACC。



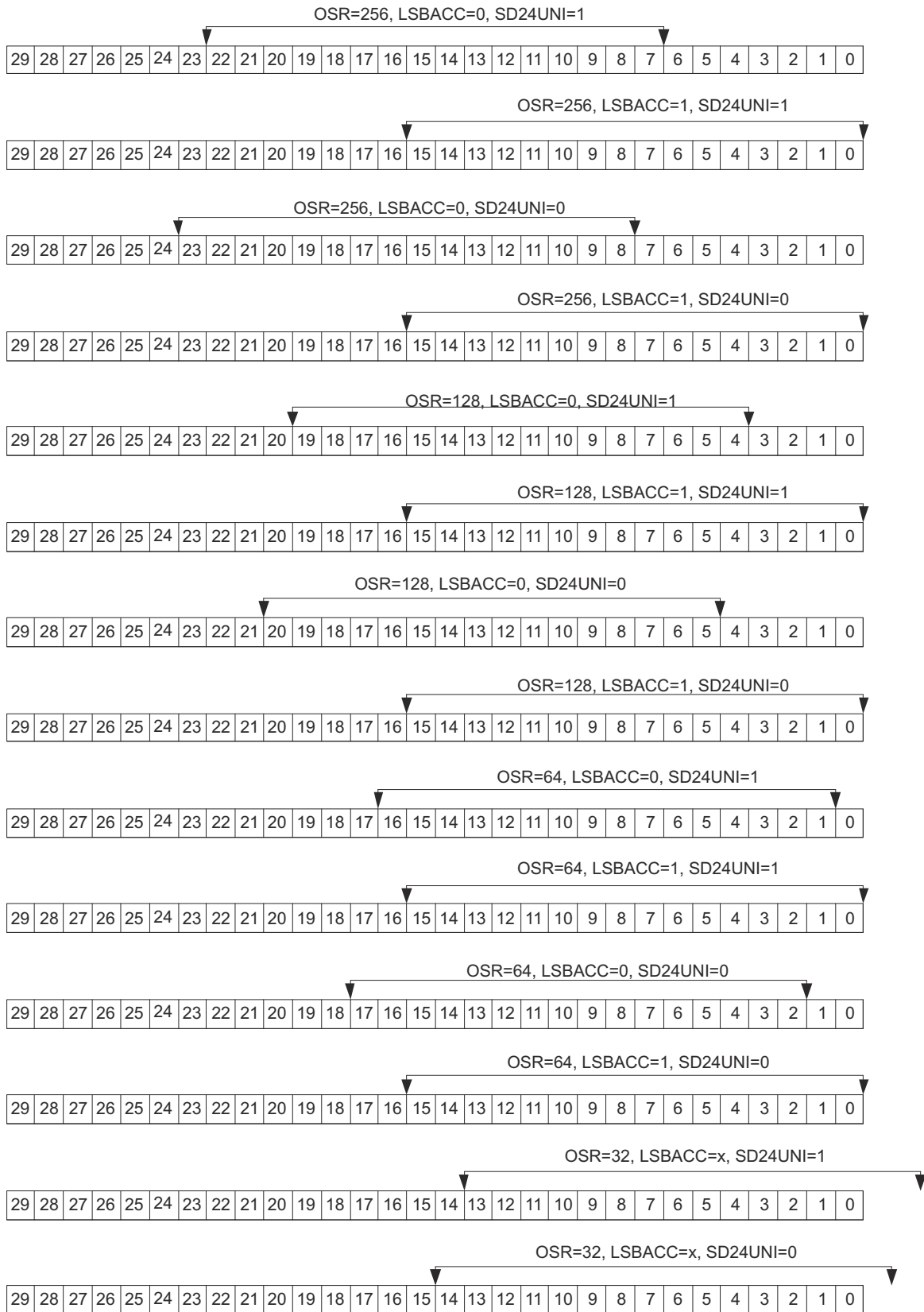


图 27-5. 已使用位的数字滤波器输出

27.2.8 转换存储器寄存器：SD24MEMx

一个 SD24MEMx 寄存器与每个 SD24_A 通道是相关联的。转换结果被移动到相应的带有数字滤波器每个抽取步骤的 SD24MEMx 寄存器中。当新的数据被写入 SD24MEMx 时，SD24IFG 位被置位。当 SD24MEMx 被 CPU 读取或可能被软件清除时，SD24IFG 被自动清零。

27.2.8.1 输出数据格式

如在表 27-3 中所示，在二进制补码，偏移二进制或单极模式中输出数据格式是可配置的。由 SD24DF 和 SD24UNI 位选择数据格式。

表 27-3. 数据格式

SD24UNI	SD24DF	Format	模拟输入	SD24MEMx ⁽¹⁾	数字滤波器输出 (OSR = 256)
0	0	双极性偏移二进制	+FSR	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用	FFFFFF
			零	8000	80000
			-FSR	0000	00000
0	1	双极性二进制补码	+FSR		7FFFF
			零	0000	00000
			-FSR	8000	80000
1	0 Ω	单极性	+FSR	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用	FFFFFF
			零	0000	80000
			-FSR	0000	00000

(1) SD24OSRx 和 SD24XOSR 设置的独立；SD24LSBACC=0。

备注

失调电压测量和数据格式

只有当 SD24UNI=0，通道在双极性模式下运行时，任何已做的外部偏移测量或使用内部差分 A7 才是适当的。

如果要在单极化模式中把测得的值是用于偏移校正，那么需要把该值乘以 2。

图 27-6 给出了从 $-V_{FSR}$ 到 $+V_{FSR}$ 的满量程输入电压范围与转换结果之间的关系。给出了数据格式。

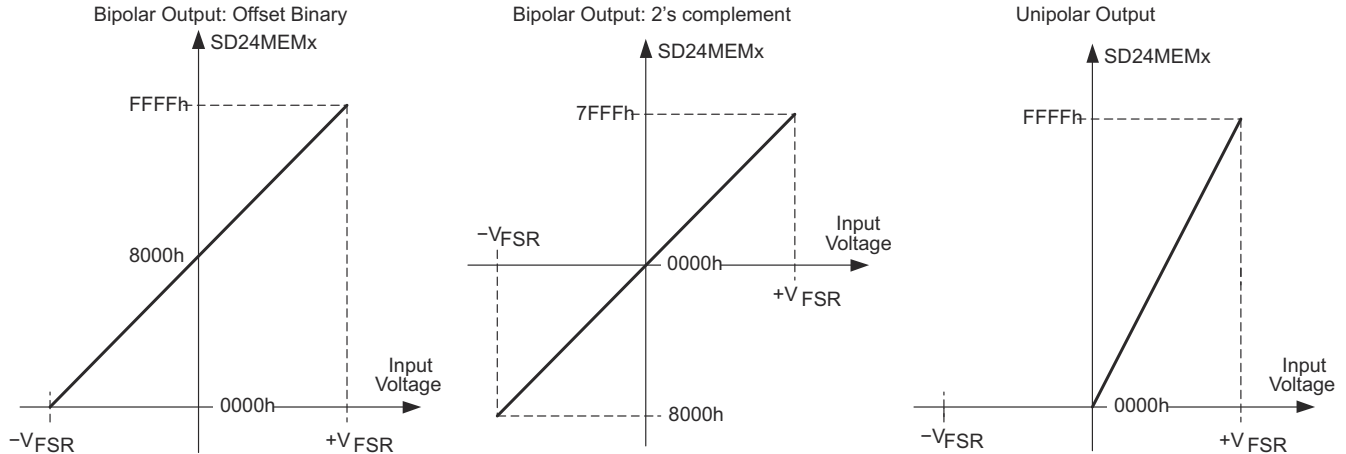


图 27-6. 输入电压与数字输出

27.2.9 转换时间

可以为四种操作模式配置 SD24_A 模块，在表 27-4 中列出了这四种操作模式。SD24SNGL 和 SD24GRP 位为每个通道选择了转换模式。

表 27-4. 转换模式总结

SD24SNGL	SD24GRP ⁽¹⁾	模式	运行
1	0 Ω	单通道，单次转换	一个单通道被转换一次。
0	0	单通道，连续转换	一个单通道被连续转换。
1	1	通道组，单次转换	一组通道被转换一次。
0	1	通道组，连续转换	一组通道被连续转换。

(1) 当 SD24GRP=0 时，如果前一通道 (S) 的 SD24GRP 被置位，一个通道被分组且是该组的主通道。

27.2.9.1 单通道，单次转换

当 SD24SNGL=1，且它不与任何其它通道分组时，在该通道上设置 SD24SC 位通道会起始一个转换。在转换完成后 SD24SC 位自动清零。

在转换完成之前清零 SD24SC 会立即停止所选通道的转换，通道被断电，且相应的数字滤波器被关闭。在 SD24SC 被清零时，可以改变 SD24MEMx 中的值。为了避免读取无效结果，建议在清除 SD24SC 之前读出 SD24MEMx 转换数据。

27.2.9.2 单通道，连续转换

当 SD24SNGL=0 时，连续转换模式被选中。选定通道的转换将在 SD24SC 被置位时开始，并一直持续到通道不与任何其他通道分组，SD24SC 位被软件清零。

清零 SD24SC 会立即停止所选通道的转换，通道被断电以及相应的数字滤波器被关闭。在 SD24SC 被清零时，可以改变 SD24MEMx 中的值。为了避免读取无效结果，建议在清除 SD24SC 之前读出 SD24MEMx 转换数据。

图 27-7 给出了单次转换模式和连续转换模式中单信道的操作。

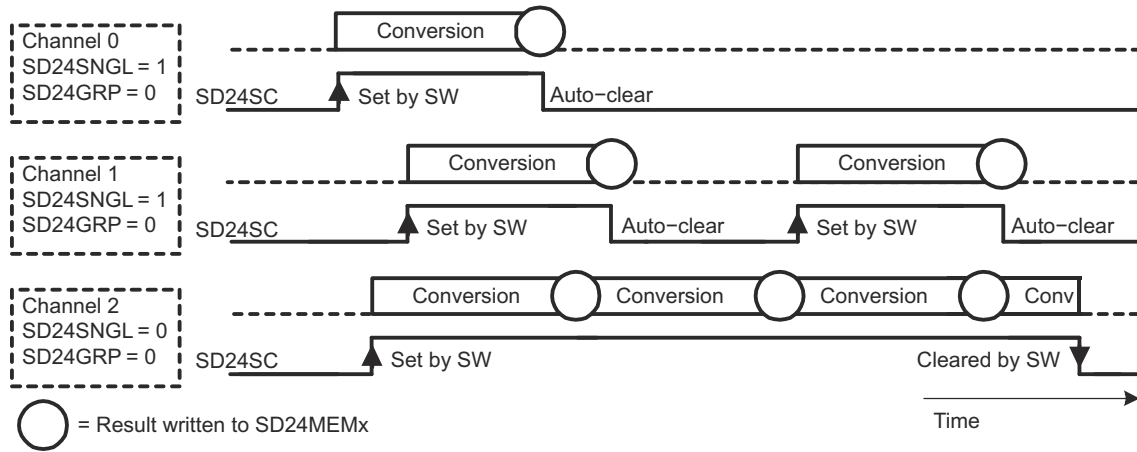


图 27-7. 单通道操作 - 示例

27.2.9.3 通道组，单次转换

连续的 SD24_A 通道可以用 SD24GRP 位组合在一起组成同步转换。为在模块中带有下一个通道的一个通道组设置 SD24GRP。例如，为通道 0 设置 SD24GRP 会将该通道与通道 1 组合在一起。在这种情况下，通道 1 是主通道，能用其 SD24SC 位启用和禁用组中所有通道的转换。主通道的 SD24GRP 位始终为 0。SD24_A 的最后一个通道的 SD24GRP 位没有任何功能，并且始终为 0。

当在一组中的通道的 SD24SNGL=1 时，就会选择单次转换模式。主通道 SD24SC 位被置位时，该通道的单次转换将同步发生。该组中所有通道的 SD24SC 位将被自动设置，且被主通道的 SD24SC 清除。每个通道的 SD24SC 也可以在软件中被独立清零。

在转换完成之前清零主通道的 SD24SC 会立即停止该组中所有通道的转换，通道被断电，且相应的数字过滤器被关闭。在 SD24SC 被清零时，可以改变 SD24MEMx 中的值。为了避免读取无效结果，建议在清除 SD24SC 之前读出 SD24MEMx 转换数据。

27.2.9.4 通道组，连续转换

当在一组中的通道的 SD24SNGL = 1 时，就会选择连续转换模式。主通道 SD24SC 位被置位时，该通道的连续转换将同步发生。主通道的 SD24SC 位将自动设置和清零所有集合通道的 SD24SC 位。在该组中的每个通道的 SD24SC 也可以在软件中被独立清零。

当一个集合通道的 SD24SC 被主机的独立软件置位时，该通道的转换会自动与主通道的转换同步。这就确保了集合通道的转换总是与主通道的转换同步。

清零主通道的 SD24SC 会立即停止该组中所有通道的转换，通道被断电，且相应的数字过滤器被关闭。在 SD24SC 被清零时，可以改变 SD24MEMx 中的值。为了避免读取无效结果，建议在清除 SD24SC 之前读出 SD24MEMx 转换数据。

图 27-8 给出了 3 个 SD24_A 通道的集合通道的操作。通道 0 配置为单次转换模式，SD24SNGL = 1，通道 1 和 2 处于连续转换模式，SD24SNGL = 0。通道 2，该组中的最后一个通道，是主通道。不管是否用软件置位每个 SD24SC 位，该组中所有通道的转换与主通道的转换同步发生。

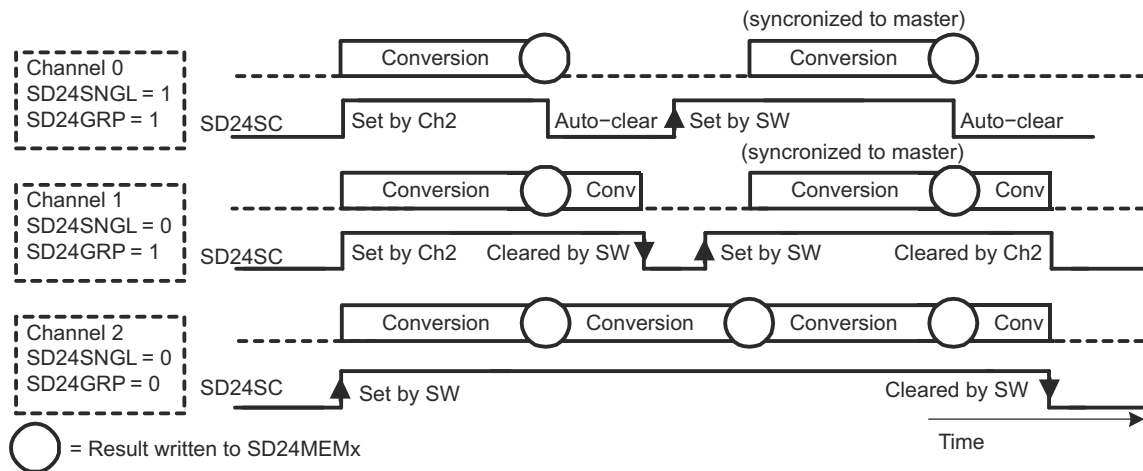


图 27-8. 集合通道操作 - 示例

27.2.10 使用预置的转换操作

当多个通道被集合时，SD24PREx 寄存器可以被用来延迟每个通道的转换时间帧。使用 SD24PREx， f_M 时钟周期指定的数量使数字滤波器的抽取时间增加，范围为 0 至 255。图 27-9 给出了使用 SD24PREx 的一个例子。

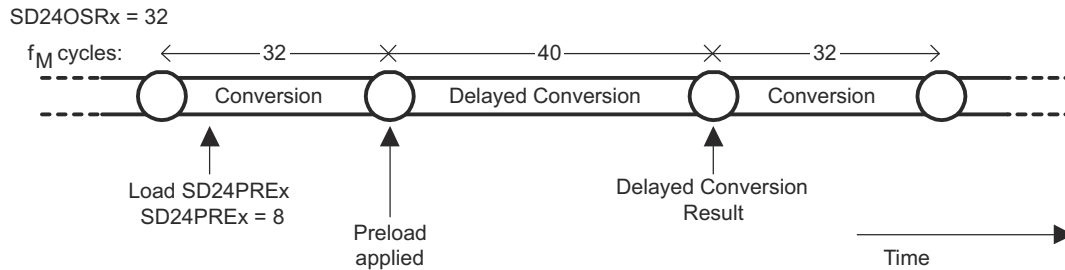


图 27-9. 转换延迟预置- 示例

SD24PREx 延迟被应用到正在写入后的下一个转换周期的开始。在 SD24SC 被置位后的第一个转换上和紧接着每一个写入 SD24PREx 的转换周期上使用该延迟。下列转换不被延迟。修改 SD24PREx 后，直到下一个转换周期完成才应发生下一个写入 SD24PREx，否则转换的结果可能不正确。

使用 SD24PREx 的已延迟转换周期结果的准确性取决于延迟的长度和正被采样的模拟信号的频率。例如，当测量直流信号时，SD24PREx 延迟对转换结果没有影响，与持续时间无关。用户必须确定延迟的转换结果何时对他们的应用程序是有用的。

图 27-10 展示了分组通道 0 和 1 的操作。通道 1 的预置寄存器被零加载，这会致使立即转换，而通过设置 SD24PRE0=8，通道 0 的转换周期被延迟。第一个通道 0 的转换使用 SD24PREx=8，用 8 个 f_M 时钟周期移位所有后续转换。

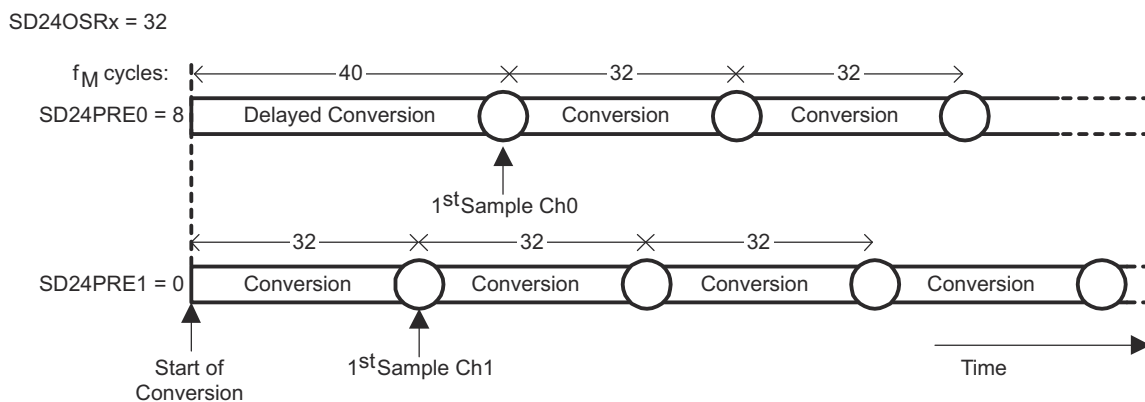


图 27-10. 使用预置的转换的开始 - 示例

当通道进行集合时，当一个或多个通道在单次转换模式中运行或在软件中被禁用、而主通道仍然活跃时必须小心。每次重新启用组中的通道并将其与主通道重新同步时，将重新引入该通道的预加载延迟。图 27-11 给出了在一个组中的通道重新同步和预置延迟。当它们被重新启用时，为了在主通道和其他通道之间维持一个一致延迟，建议主通道的 SD24PREx=0。

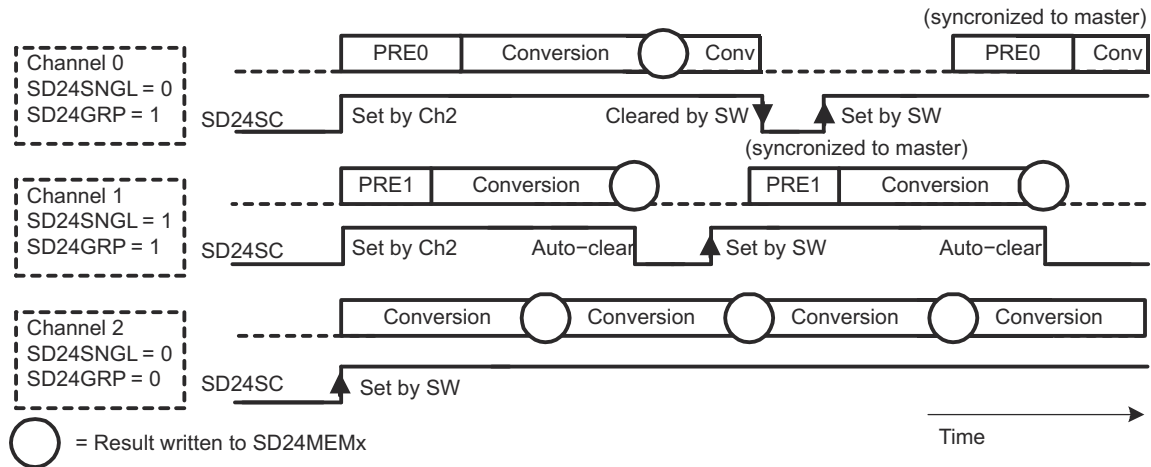


图 27-11. 预至和通道同步

27.2.11 使用集成温度传感器

若要使用片上温度传感器，用户需选择模拟输入对 SD24INCHx = 110 并设置 SD24REFON = 1。任何其他配置完成后，就如外部模拟输入对被选中，包括 SD24INTDLYx 和 SD24GAINx 设置。由于内部参考必须在温度传感器上使用，因此是不能用做温度传感器电压转换的一个外部基准电压的。此外，内部基准电压将争用任何使用的外部基准电压。在这种情况下，为了最小化争用转换的影响，可以 SD24VMIDON 位被设置。

图 27-12 给出了典型的温度传感器的传递函数。当把一个 SD24_A 通道输入切换到温度传感器时，为了能使数字滤波器建立和保证转换结果是有效的，必须使用 SD24INTDLYx 提供足够的延迟。对于大多数应用来说，该温度传感器的偏移误差可以有点大，并可能需要校准。有关温度传感器参数请参阅《特定器件的数据手册的》。

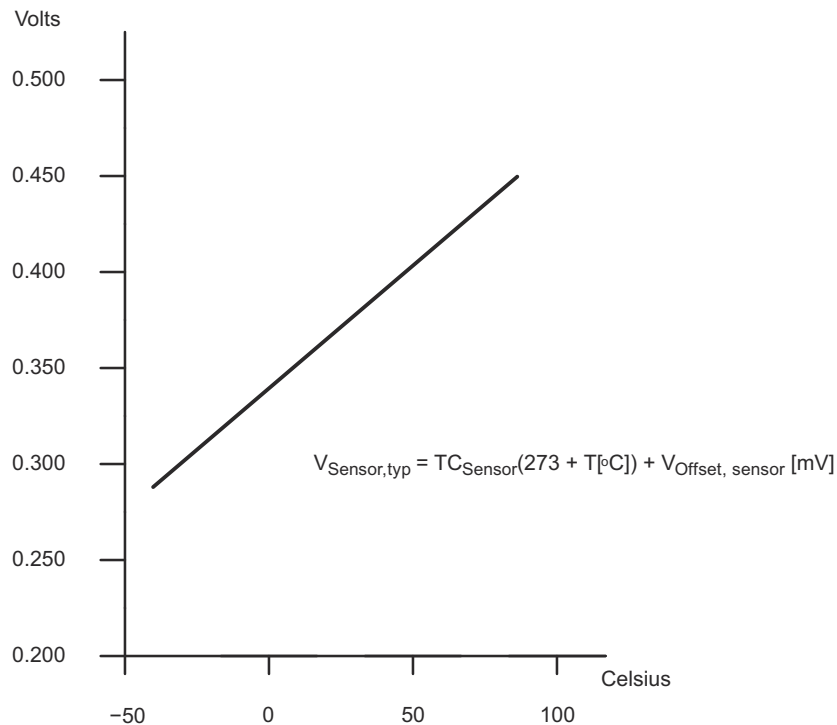


图 27-12. 典型的温度传感器传输函数

27.2.12 中断处理

每个 ADC 通道的 SD24_A 有 2 个中断源：

- SD24IFG
- SD24OVIFG

当 SD24IFG 位相应的 SD24MEMx 内存寄存器用转换结果进行写入时，它们会被置位。如果相应的 SD24IE 位和 GIE 位被置位，那么就会产生一个中断请求。当在上个转换结果被读取之前，一个转换结果被写入到任何 SD24MEMx 位置时，就会发生 SD24_A 溢出情况。

27.2.12.1 SD24IV，中断向量发生器

所有 SD24_A 中断源被优先化，并与一个中断向量源结合起来。SD24IV 用于确定哪一个使能的 SD24_A 中断源请求了一个中断。在 SD24IV 寄存器中，产生了大量的被使能最高优先级的 SD24_A 中断请求（见寄存器描述）。这个数字可以评估，或将其添加到程序计数器，以便自动进入相应的软件程序。禁用的 SD24_A 中断不影响 SD24IV 值。

SD24IV 寄存器的任何访问，读取或写入都对 SD24OVIFG 或 SD24IFG 标志没有影响。可通过读取相关的 SD24MEMx 寄存器，或通过清除软件中的标志来复位 SD24IFG 标志。SD24OVIFG 位只能用软件复位。

在一个中断服务之后，如果另一个中断挂起，则会产生另一个中断。例如，如果 SD24OVIFG 和一个或多个 SD24IFG 中断挂起，当中断服务例程访问 SD24IV 寄存器时，SD24OVIFG 中断条件会第一个接收服务，且其相应的标志 (s) 必须从软件中清除。中断服务程序的 RETI 指令被执行后，挂起的优先级最高的 SD24IFG 会产生另一个中断请求。

27.2.12.2 中断延时操作

SD24INTDLYx 位控制为相应通道的第一个中断服务请求定时。为了在产生一个中断请求之前使数字滤波器建立，此功能为一个完成的转换把中断请求延迟了高达 4 个转换周期。每次 SD24SC 位被置位时，或者当通道的 SD24GAINx 或 SD24INCHx 位被修改时都会启用该延迟。SD24INTDLYx 为所选通道延迟周期数禁用溢出中断的产生。在延迟期间，没有生成延迟转换的中断请求。

27.2.12.3 SD24_A 中断处理软件示例

以下软件示例给出了建议的 SD24IV 和处理开销的使用。为了自动跳转到相应的程序，SD24IV 值被添加到 PC。

右边距的数字展示了每条指令所需的 CPU 周期。不同中断源的软件开销包括中断延迟时间和从中断返回周期，但不包含处理本身的任务。延迟是：

- SD24OVIFG、CH0 SD24IFG、CH1 SD24IFG : 16 个周期
- CH2 SD24IFG : 14 个周期

如果在 ISR 处理期间发生一个较高优先级中断，通道 2 SD24IFG 的中断处理程序会给出一个立即检查的方法。如果另一个 SD24_A 中断正被挂起，这样可以节省 9 个时钟周期。

```

; Interrupt handler for SD24_A.
INT_SD24      ; Enter Interrupt Service Routine      6
  ADD      &SD24IV,PC ; Add offset to PC          3
  RETI     ; Vector 0: No interrupt                5
  JMP      ADOV      ; Vector 2: ADC overflow      2
  JMP      ADM0      ; Vector 4: CH_0 SD24IFG      2
  JMP      ADM1      ; Vector 6: CH_1 SD24IFG      2
;
; Handler for CH_2 SD24IFG starts here.No JMP required.
;
ADM2  MOV   &SD24MEM2,xxx ; Move result, flag is reset
      ...   ; Other instruction needed?
      JMP  INT_SD24      ; Check other int pending      2
;
; Remaining Handlers
;
ADM1  MOV   &SD24MEM1,xxx ; Move result, flag is reset
      ...   ; Other instruction needed?
      RETI     ; Return          5
;
ADM0  MOV   &SD24MEM0,xxx ; Move result, flag is reset
      RETI     ; Return          5
;
ADOV  ...   ; Handle SD24MEMx overflow
      RETI     ; Return          5

```

27.3 SD24_A 寄存器

表 27-5 列出了 SD24_A 的存储器映射寄存器。

表 27-5. SD24_A 寄存器

地址	首字母缩写	寄存器名称	类型	复位	部分
100h	SD24CTL	SD24_A 控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.2
110h	SD24IV	SD24_A 中断向量	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.3
B7h	SD24AE	SD24_A 模拟使能 ⁽¹⁾	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.4
102h	SD24CCTL0	SD24_A 通道 0 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
112h	SD24MEM0	SD24_A 通道 0 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B0h	SD24INCTL0	SD24_A 通道 0 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
B8h	SD24PRE0	SD24_A 通道 0 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
104h	SD24CCTL1	SD24_A 通道 1 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
114h	SD24MEM1	SD24_A 通道 1 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B1h	SD24INCTL1	SD24_A 通道 1 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
B9h	SD24PRE1	SD24_A 通道 1 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
106h	SD24CCTL2	SD24_A 通道 2 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
116h	SD24MEM2	SD24_A 通道 2 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B2h	SD24INCTL2	SD24_A 通道 2 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
BAh	SD24PRE2	SD24_A 通道 2 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
108h	SD24CCTL3	SD24_A 通道 3 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
118h	SD24MEM3	SD24_A 通道 3 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B3h	SD24INCTL3	SD24_A 通道 3 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
BBh	SD24PRE3	SD24_A 通道 3 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
10Ah	SD24CCTL4	SD24_A 通道 4 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
11Ah	SD24MEM4	SD24_A 通道 4 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B4h	SD24INCTL4	SD24_A 通道 4 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
BCh	SD24PRE4	SD24_A 通道 4 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
10Ch	SD24CCTL5	SD24_A 通道 5 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
11Ch	SD24MEM5	SD24_A 通道 5 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B5h	SD24INCTL5	SD24_A 通道 5 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
BDh	SD24PRE5	SD24_A 通道 5 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8
10Eh	SD24CCTL6	SD24_A 通道 6 的控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.5
11Eh	SD24MEM6	SD24_A 通道 6 的转换存储器	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.6
B6h	SD24INCTL6	SD24_A 通道 6 的输入控制	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.7
BEh	SD24PRE6	SD24_A 通道 6 的预置	读取/写入	PUC 后为 00h	节 27.3.8

(1) 在所有设备上没有执行；请参阅《特定器件的数据手册》。

27.3.1 SD24CTL 寄存器

SD24_A 控制寄存器

图 27-13 展示了 SD24CTL，表 27-6 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-13. SD24CTL 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留				SD24XDIVx			SD24LP
r-0	r-0	r-0	r-0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD24DIVx		SD24SSELx		SD24VMIDON	SD24REFON	SD24OVIE	保留
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r-0

表 27-6. SD24CTL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	保留	R	0h	
11-9	SD24XDIVx	R/W	0h	SD24_A 时钟分频器 00b = /1 01b = /3 10b = /16 11b = /48 1xxb = 保留
8	SD24LP	R/W	0h	低功耗模式。该位选择了一个速度减少功耗降低模式 0b = 禁用低功耗模式 1b = 启用低功耗模式。SD24_A 的最大时钟频率被减小。
7-6	SD24DIVx	R/W	0h	SD24_A 时钟分频器 00b = /1 01b = /2 10b = /4 11b = /8
5-4	SD24SSELx	R/W	0h	SD24_A 时钟源选择 00b = MCLK 01b = SMCLK 10b = ACLK 11b = 外部 TACLK
3	SD24VMIDON	R/W	0h	VMID 缓冲在 0b = 关闭 1b = 打开
2	SD24REFON	R/W	0h	基准发电机在 0b = 基准关闭 1b = 基准打开
1	SD24OVIE	R/W	0h	SD24_A 溢出中断使能。GIE 位也必须设置为启用中断。 0b = 禁用溢出中断 1b = 使能溢出中断
0	保留	R	0h	

27.3.2 SD24IV 寄存器

SD24_A 中断向量寄存器

图 27-14 展示了 SD24IV，表 27-7 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-14. SD24IV 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
SD24IVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD24IVx							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 27-7. SD24IV 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	SD24IVx	R	0h	SD24_A 中断向量值。请参阅表 27-8。

表 27-8. SD24_A 中断向量

SD24IV 内容	中断源	中断标志	中断优先级
000h	无中断挂起	-	
002h	SD24MEMx 溢出	SD24CCTLx SD24OVIFG ⁽¹⁾	最高
004h	SD24_A 通道 0 的中断	SD24CCTL0 SD24IFG	
006h	SD24_A 通道 1 的中断	SD24CCTL1 SD24IFG	
008h	SD24_A 通道 2 的中断	SD24CCTL2 SD24IFG	
00Ah	SD24_A 通道 3 的中断	SD24CCTL3 SD24IFG	
00Ch	SD24_A 通道 4 的中断	SD24CCTL4 SD24IFG	
00Eh	SD24_A 通道 5 的中断	SD24CCTL5 SD24IFG	
010h	SD24_A 通道 6 的中断	SD24CCTL6 SD24IFG	最低

- (1) 当 SD24_A 发生溢出时，为了确定是哪个通道溢出的，用户必须检查所有 SD24CCTLxSD24OVIFG 标志。

27.3.3 SD24AE 寄存器

SD24_A 模拟使能寄存器

图 27-15 展示了 SD24AE，表 27-9 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

在所有设备上没有执行；请参阅《特定器件的数据手册》。

图 27-15. SD24AE 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD24AE7	SD24AE6	SD24AE5	SD24AE4	SD24AE3	SD24AE2	SD24AE1	SD24AE0
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 27-9. SD24AE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	SD24AE7	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 7 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
6	SD24AE6	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 6 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
5	SD24AE5	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 5 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
4	SD24AE4	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 4 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
3	SD24AE3	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 3 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
2	SD24AE2	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 2 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
1	SD24AE1	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 1 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入
0	SD24AE0	R/W	0h	SD24_A 模拟使能 0 0b = 禁用外部输入。负极输入端被内置连接到 VSS。 1b = 启用外部输入

27.3.4 SD24CCTLx 寄存器

SD24_A 通道 x 控制寄存器

图 27-16 展示了 SD24CCTLx，表 27-10 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-16. SD24CCTLx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
保留	SD24BUFx		SD24UNI	SD24XOSR	SD24SNGL	SD24OSRx	
r-0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD24LSBTOG	SD24LSBACC	SD24OVIFG	SD24DF	SD24IE	SD24IFG	SD24SC	SD24GRP
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	r(w)-0

表 27-10. SD24CCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	保留	R	0h	
14-13	SD24BUFx	R/W	0h	高阻抗输入缓冲模式。仅在部分器件上实现（请参阅器件特定数据表）。如果未实现高阻抗缓冲器，则保留为 r-0 访问。 00b = 禁用缓冲器 01b = 低速低电流 10b = 中速中电流 11b = 高速高电流
12	SD24UNI	R/W	0h	单极性模式选择 0b = 双极模式 1b = 单极模式
11	SD24XOSR	R/W	0h	已扩展过采样率。该位，与 SD24OSRx 位，选择过采样率。有关设置，请参阅表 27-10 位说明。
10	SD24SNGL	R/W	0h	单次转换模式选择 0b = 连续转换模式 1b = 单次转换模式
9-8	SD24OSRx	R/W	0h	过采样率 当 SD24XOSR = 0 时 00b = 256 01b = 128 10b = 64 11b = 32 当 SD24XOSR = 1 时 00b = 512 01b = 1024 10b = 保留 11b = 保留

表 27-10. SD24CCTL0 寄存器字段说明 (continued)

位	字段	类型	复位	说明
7	SD24LSBTOG	R/W	0h	LSB 触发器。该位，当置位时，每次读取 SD24MEMx 寄存器都会引起 SD24LSBACC 触发。 0b = SD24LSBACC 不在每次 SD24MEMx 读取时切换 1b = SD16LSBACC 在每次 SD24MEMx 读取时切换
6	SD24LSBACC	R/W	0h	LSB 访问。此位允许访问 SD24_A 转换结果的高于或低于 16 位。 0b = SD24MEMx 包含转换的 16 个最高有效位。 1b = SD24MEMx 包含转换的 16 个最低有效位。
5	SD24OVIFG	R/W	0h	SD24_A 溢出中断标志 0b = 无溢出中断待处理 1b = 有溢出中断待处理
4	SD24DF	R/W	0h	SD24_A 的数据格式 0b = 偏移二进制 1b = 二进制补码
3	SD24IE	R/W	0h	SD24_A 中断使能 0b = 禁用 1b = 启用
2	SD24IFG	R/W	0h	SD24_A 中断标志。当新的转换结果可用时才置位 SD24IFG。当相应的 SD24MEMx 寄存器被读取时，SD24IFG 被自动复位或者被软件清零。 0b = 无中断挂起 1b = 中断挂起
1	SD24SC	R/W	0h	SD24_A 开始转换 0b = 无转换开始 1b = 开始转换
0	SD24GRP	R/W	0h	SD24_A 集合。带有下一个较高通道的 SD24_A 集合通道。不用于最后一个通道。 0b = 未编组 1b = 已编组

27.3.5 SD24MEMx 寄存器

SD24_A 通道 x 转换存储器寄存器

图 27-17 展示了 SD24MEMx，表 27-11 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-17. SD24MEMx 寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
转换结果							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0
7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
转换结果							
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

表 27-11. SD24MEM0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	转换结果	R	0h	转换结果。SD24MEMx 寄存器是否保存高于或低于 16 位的数字滤波器的输出取决于 SD24LSBACC 位。

27.3.6 SD24INCTLx 寄存器

SD24_A 通道 x 输入控制寄存器

图 27-18 展示了 SD24INCTLx，表 27-12 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-18. SD24INCTLx 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
SD24INTDLYx		SD24GAINx			SD24INCHx		
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 27-12. SD24INCTL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	SD24INTDLYx	R/W	0h	转换开始后产生的中断延迟。这些位选择转换开始后的第一个中断延迟。 00b = 第四个样本引起中断 01b = 第三个采样引起中断 10b = 第二个采样引起中断 11b = 第一个采样引起中断
5-3	SD24GAINx	R/W	0h	SD24_A 前置放大器的增益 000b = ×1 001b = ×2 010b = ×4 011b = ×8 100b = ×16 101b = ×32 110b = 保留 111b = 保留
2-0	SD24INCHx	R/W	0h	SD24_A 通道差分对输入。可用的选择依赖于设备。设置特定器件数据表。 000b = Ax.0 001b = Ax.1。仅在部分器件上可用（请参阅器件特定数据表）。 010b = Ax.2。仅在部分器件上可用（请参阅器件特定数据表）。 011b = Ax.3。仅在部分器件上可用（请参阅器件特定数据表）。 100b = Ax.4。仅在部分器件上可用（请参阅器件特定数据表）。 101b = (AV _{CC} - AV _{SS})/11 110b = 温度传感器 111b = 用于 PGA 失调电压测量的短接

27.3.7 SD24PREx 寄存器

SD24_A 通道 x 预加载寄存器

图 27-19 展示了 SD24PREx，表 27-13 中对此进行了介绍。

返回表 27-5。

图 27-19. SD24PREx 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0 Ω
Preload_Value							
rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0	rw - 0

表 27-13. SD24PRE0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Preload_Value	R/W	0h	SD24_A 数字滤波器的预置值

章节 28
内嵌式仿真模块 (EEM)



本章描述了嵌入式仿真模块 (EEM) 在所有 MSP430 闪存器件中的应用。

28.1 EEM 说明	698
28.2 EEM 构建模块	700
28.3 嵌入式仿真模块的配置	701

28.1 EEM 说明

每个 MSP430 闪存型微控制器都应用了嵌入式仿真模块 (EEM)。它是通过 JTAG 进行控制和访问的。每种应用都与器件相关，在 1.3 节 *EEM 配置* 和器件数据手册中进行了详细描述。

概括的说，具有以下特征：

- 具有非侵入性执行代码的实时断点控制。
- 单步，单步进入和跳过功能
- 支持所有的低功耗模式
- 支持所有的系统频率和时钟源
- 最多可以在地址总线 (MAB) 和数据总线 (MDB) 上设置 8 (器件相关) 个硬件触发/断点
- 最多可以在 CPU 寄存器写入口设置 2 (器件相关) 个硬件触发/断点
- 地址总线，数据总线，和 CPU 寄存器触发器可被连接在一起，以便组成 8 (器件相关) 个硬件触发/断点
- 触发排序 (器件相关)
- 用一个集成跟踪缓冲器(取决于具体器件)来存储内部总线和控制信号
- 在一个仿真暂停时，对定时器，通信外围器件，和在其他通用器件或在一个前置基础模块上的其他模块进行时钟控制

图 28-1 展示了目前最大的 2xx 嵌入式仿真模块应用的简化模块图。

有关如何将 EEM 的功能与 IAR Embedded Workbench™ 调试器一同使用的更多详细信息，请参阅 www.msp430.com 上的应用报告 *使用增强型仿真模块进行高级调试 (SLAA263)*。代码调试器 (CCE) 和其他调试器支持 MSP430 拥有相同或相似的功能设置。更多详细信息请参阅《适用调试器用户指南》。

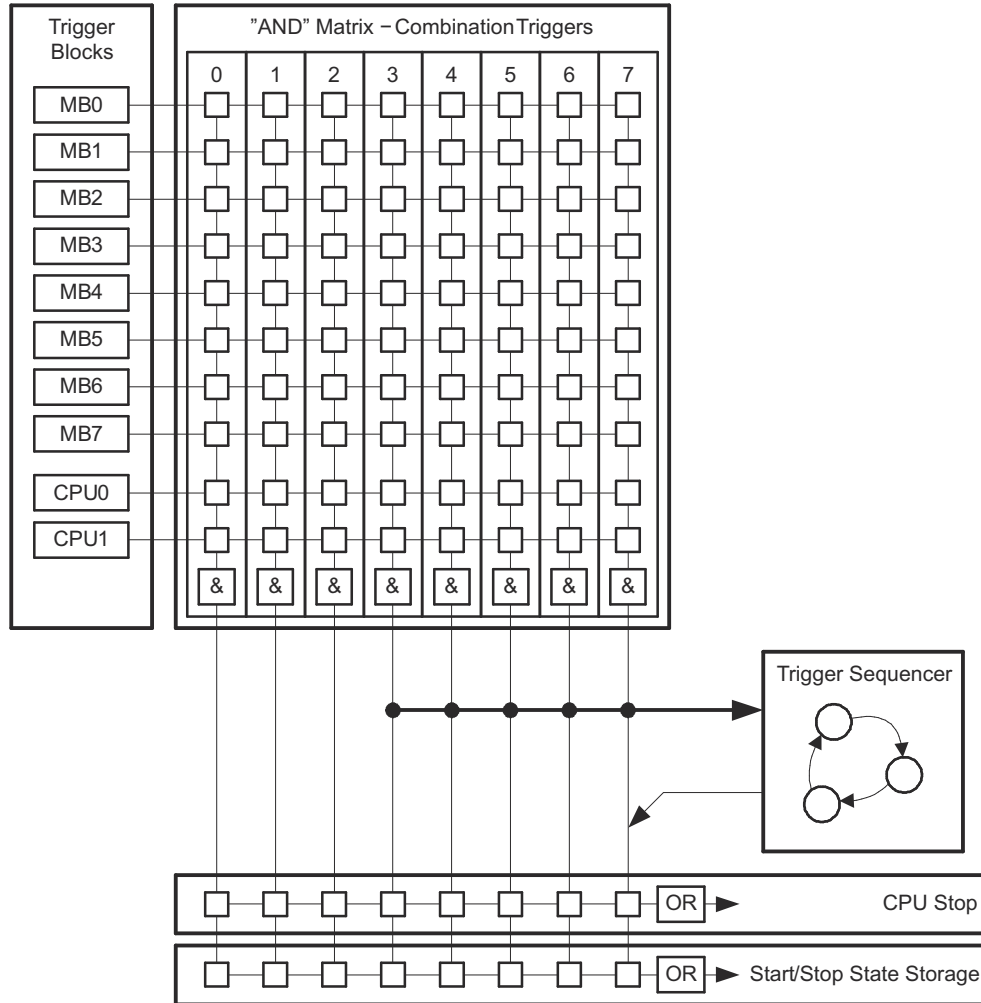


图 28-1. 嵌入式仿真模块 (EEM) 的大应用

28.2 EEM 构建模块

28.2.1 触发器

MSP430 系统的嵌入式仿真模块的事件控制由触发器组成，触发器是指示一个已发生特定事件的内部信号。可以将这些触发器用作简单的断点，但也可以结合两个或者更多的触发器来探测复杂事件，同时，除了可以停止 CPU 以外，也触发各种各样的反应。

一般来说，这些触发器可以用来控制嵌入式仿真模块的以下功能模块：

- 断点 (CPU 停止)
- 状态存储器
- 序列发生器

有两种不同类型的触发器，存储触发器和 CPU 寄存器写入触发器。

为了将 MAB 或 MDB 上的数据和已知的数据进行比较，每一个存储触发器模块都可以被独立选中。根据应用的嵌入仿真模块，比较方式可以是 =, ≠, ≥ 或 ≤。通过使用一个掩码可以将这种比较限制到某些位。掩码可以是位型的，也可以是字节型的，这由器件来决定。除了可以选择总线和比较外，也可以选择触发器的触发条件。这些条件包括读取访问，写写访问，DMA 访问和获取指令。

为了将写入选中寄存器的数据和已知数据进行比较，每一个 CPU 寄存器写入触发器模块都可以被独立地选中。对每一个触发器都可以独立地选择被观察的寄存器。比较方式可以是 =, ≠, ≥ 或 ≤。通过使用一个位掩码可以将这种比较限制到某些位。

可以把这两种类型触发器组合在一起，以便组成更加复杂的触发器。例如，一个复杂的触发器可以在一个特定数值被写入一个特定用户的地址时发出信号。

28.2.2 触发序列发生器

触发序列发生器允许在一个事件接收一个中断或状态存储事件前定义触发信号的一个特定顺序。在触发序列发生器内可以实现以下功能：

- 四种状态 (状态 0 到状态 3)
- 每一种状态切换到另一种状态时发生两次传递
- 把复位触发序列发生器的触发器复位为状态 0。

触发序列发生器总是从状态 0 开始，且为了产生一个动作，必须执行到状态 3。如果不需要状态 1 和状态 2，它们可以被忽略。

28.2.3 状态储存 (内部跟踪缓冲器)

状态存储功能用一个内置缓冲器以一种没有侵占性的方式存储 MAB, MDB, 和 CPU 控制信号信息 (即：读，写或者获取指令)。内置缓冲器可以保持多达八个入口。灵活的配置可以允许用户非常有效地记录感兴趣的信息。

28.2.4 时钟控制

嵌入式仿真模块给器件提供了相关灵活的时钟控制。该应用对于那些在 CPU 停止以后还需要一个运行时钟的外设是很有用。(例如：为了允许一个 UART 模块完成其一个字符的传送或者允许一个定时器继续产生一个 PWM 信号)。

该时钟控制是灵活的并且支持这两种模块：即需要一个运行时钟的模块和那些当由一个断点导致 CPU 停止时必须被停止的模块。

28.3 嵌入式仿真模块的配置

表 28-1 概括了 MSP430 2xx 系列的嵌入式仿真模块的配置。这些配置都与器件相关—请参阅《器件数据手册》。

表 28-1. 2xx 嵌入式仿真模块的配置

特性	XS	S	M	L
存储器总线触发	2 (只有 =, ≠)	3	5	8
存储器总线触发掩码对于	1) 低字节	1) 低字节	1) 低字节	所有 16 或 20 位
	2) 高字节	2) 高字节	2) 高字节	
CPU 寄存器写入触发	0	1	1	2
组合触发	2	4	6	8
序列发生器	否	否	有	是
状态存储器	否	否	否	有

基本上任一款 2xx 器件都包括了以下这些特性：

- 至少两个 MAB/MDB 触发器支持：
 - CPU, DMA, 读取, 和写入访问区分
 - =, ≠, ≥ 或 ≤ 的比较 (在 XS 中仅有 =, ≠)
- 至少两个触发结合寄存器
- 使用 CPU 停止反馈的硬件断点
- 带有模块时钟独立控制的时钟控制 (在某些 XS 配置中模块时钟的控制是硬编码的)



注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from JULY 1, 2013 to AUGUST 25, 2022	Page
• 更正了节 3.4.6.14 CMP 中 N 和 Z 状态位的说明.....	80
• 更正了节 4.6.2.14 CMP 中 N 和 Z 状态位的说明.....	180
• 在“器件特定时钟变体”注释中添加了 MSP430G2x55.....	276
• 在以“如果 LFXT1CLK 不提供 SMCLK 或 MCLK...”开头的段落中添加了 ACLK_request、MCLK_request 和 SMCLK_request.....	279
• 更正了图 5-3 LFXT1 振荡器的关闭信号中 SELM1 位的名称（原来为 XSELM1）.....	279
• 在节 5.2.4 XT2 振荡器的第一段中添加了 MCLK_request 和 SMCLK_request.....	280
• 更正了图 5-4 振荡器 XT2 的关闭信号中 SELM1 位的名称（原来为 XSELM1）.....	280
• 更正了图 5-5 DCO 的开关控制中 SELM1 位的名称（原来为 XSELM1）.....	281
• 更新了节 7.2 闪存分段中段和块大小的说明.....	318
• 更正了图 7-2 闪存段，32KB 示例中的主存储器边界地址（从 0x0F000 更改为 0x08000）.....	318
• 更正了 BUSY 位的访问类型（只读）.....	332
• 向表 8-2 数字 I/O 寄存器中的 P2SEL 复位值添加了注释.....	345
• 添加了数字 I/O 寄存器说明部分（节 8.3.1 至节 8.3.9）.....	347
• 将节 12.2.4.1 通过软件初始化捕捉中代码示例第二行注释的“TACCTLx”更改为“TACCRx”.....	381
• 更正了表 13-6 TBCTL 寄存器字段说明中 IDx 值的格式.....	411
• 在节 14.2.1 USI 初始化中添加了以“如果在 USI 模块处于软件复位模式时 USIIE = 1...”开头的注释.....	421
• 添加了以“对于在 I ² C 模式下使用 USI 的示例...”开头的段落.....	424
• 在节 15.3.5.2 IrDA 解码中添加了注释“可靠接收 IrDA 信号”.....	440
• 更新了图 17-3 I ² C 模块数据传输，以阐明 SCL 为低电平时的 SDA 转换.....	486
• 更正了图 18-20 UxRXBUF 寄存器中的位字段名称.....	527
• 更正了图 18-21 UxTXBUF 寄存器中的位字段名称.....	527
• 更正了图 19-19 UxRXBUF 寄存器中的位字段名称.....	545
• 更正了图 19-20 UxTXBUF 寄存器中的位字段名称.....	545
• 添加了以“更改 CAIES 位的值...”开头的注释.....	571
• 在以“多达八个外部输入通道...”开头的列表项中添加了 MSP430G2x44 和 MSP430G2x55.....	580
• 在图 22-1 ADC10 方框图的第一个注释中添加了 MSP430G2x44 和 MSP430G2x55.....	580
• 在 INCHx 位说明中向枚举 1100b 至 1111b 添加了 MSP430G2x44 和 MSP430G2x55.....	598
• 将 TAG_ADC10_1 值更改为依赖于器件.....	632
• 更改了图 26-4.....	654
• 更改了图 27-4.....	676

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司