

AN-8202

FCM8531 用户手册硬件说明

1. 概括

FCM8531 是一款用于电机控制的特定应用的双核心处理器，由先进电机控制器 (AMC) 处理器和与 MCS[®]51 兼容型的 MCU 处理器组成。AMC 是专门为电机控制设计的核心处理器，并且还专门集成了可配置处理内核和外围电路以执行无传感器磁场定向控制 (FOC) 电机控制。可通过用于不同电机应用的嵌入式 MCS[®]51 对系统控制、用户界面、通信接口和输入/输出接口编程。

FCM8531 双核心处理器的优点是，这两个处理器可独立工作且相互补充。AMC 专用于电机控制应用，如电机控制算法、PWM 控制、电流感测、实时过流保护和电机相角计算。嵌入式 MCU 向 AMC 提供电机控制命令，以通过通信接口控制电机。由于在 AMC 中执行了复杂的电机控制算法，所以此方法可以减少软件的负担并简化控制系统程序。Fairchild 为用户提供电机控制开发系统 (MCDS) IDE 和 MCDS 编程套件以进行软件开发，执行系统内编程 (ISP)，并执行在线调试。

图 1 说明 FCM8531 的典型应用。

先进电机控制器 (AMC)

- 可配置处理内核
 - 采用速度积分法的无传感器 FOC
 - 带滑动模式的无传感器磁场定向控制
 - 霍尔接口
- 空间向量调制 (SVM)
- 正弦波和方波发生器
- 可编程电流前沿相位控制
- 可编程死区时间

嵌入式 MCU

- 兼容 MCS[®]51
- 指令执行周期 $63\% < 3$ 个系统时钟 (3T)
- 内存大小：
 - 12KB 闪存程序存储器
 - 256+1 KB SRAM 数据存储器
- 扩展的 16 位乘/除单元 (MDU)
- ≤ 17 个通用输入/输出 (GPIO) 引脚
- 全双工的串行接口 (UART)
- I²C 接口
- 串行外围接口 (SPI)
- 三个外部中断
- 三个 16 位计时器
- 可编程 15 位看门狗计时器 (WDT)
- 内置上电复位 (POR)
- 内置时钟发生器
- 两级程序存储器锁定

ADC 和 DAC

- 8 通道 10 位 ADC
 - 自动触发采样并保持
 - 四个触发模式选择
 - 三个前置放大器增益选择
- 1 通道 8 位 DAC

保护

- 三级过流保护 (OCP)

电源管理

- 空闲模式、停止模式和睡眠模式

开发支持

- 系统内编程 (ISP)
- 片上调试支持 (OCDS)

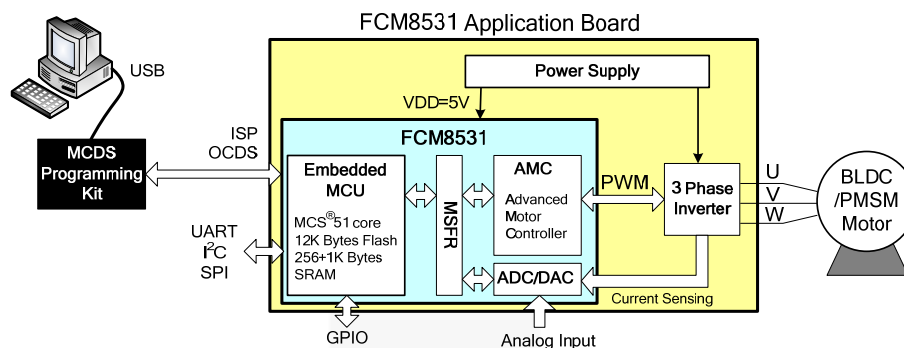


图 1. 应用模块图

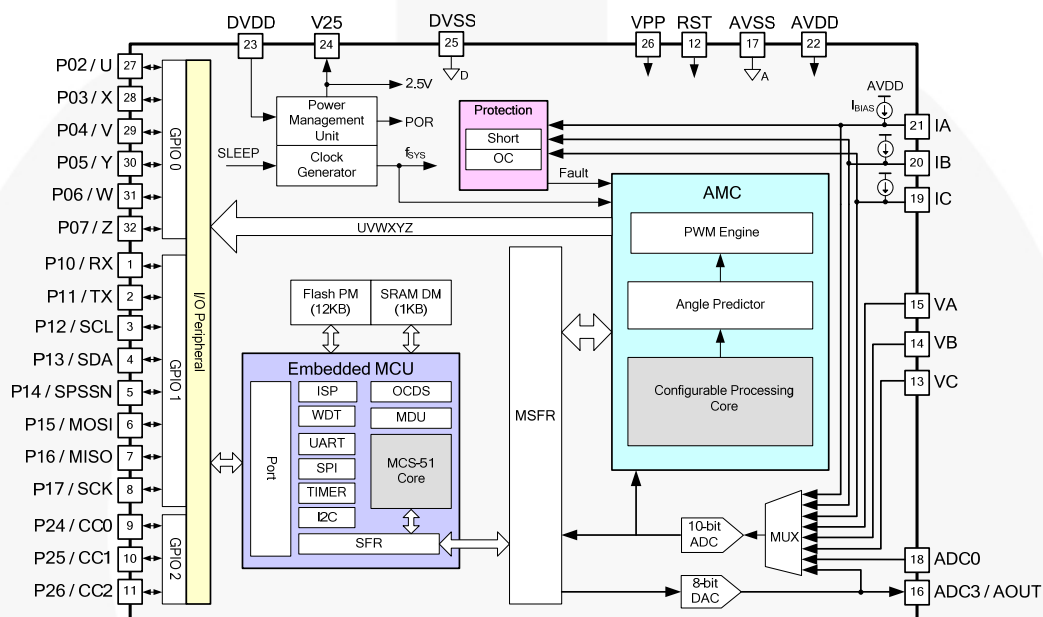


图 2. 框图

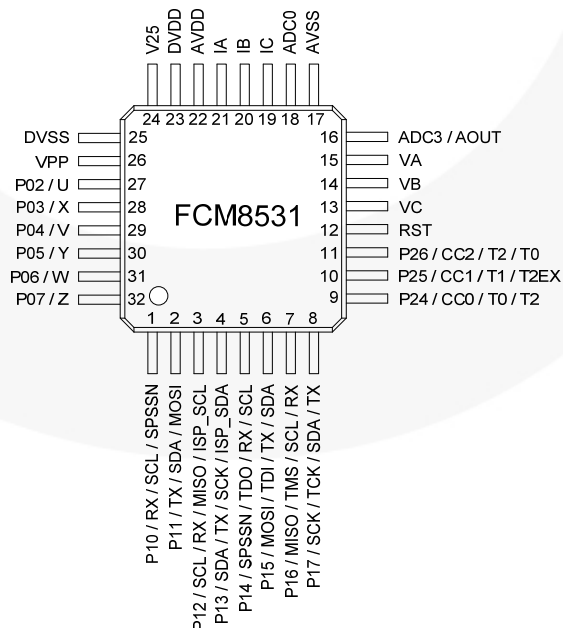


图 3. 引脚配置

目录

1. 概括	1
2. MSFR（特殊电机功能寄存器）	5
2.1. MSFR 映射	5
2.2. MSFR 说明	6
3. 先进电机控制器	13
3.1. 复位	13
3.2. 角度预测器	13
3.2.2 霍尔信号过滤器	14
3.2.3 锁相环 (PLL)	14
3.2.4 领先角位移器	15
3.2.5 角编码器	15
3.3. PWM 引擎	16
3.3.1 SAW 发生器	16
3.3.2 方波模式	17
3.3.3 正弦波模式	19
3.3.4 自动 SAW 对齐功能	19
3.3.5 死区时间	19
3.4. 霍尔边沿中断	20
3.5. 用户定义表	20
3.5.1 用户定义方波表	20
3.5.2 用户定义的正弦波表	22
4. 嵌入式 MCU	23
4.1. 内存组织	23
4.1.1 程序内存	23
4.1.2 数据存储器	24
4.2. 复位	24
4.2.1 上电复位	24
4.2.2 硬件复位	25
4.2.3 软件复位	25
4.3. SFR（特殊功能寄存器）	25
4.4. GPIO	38
4.4.1 GPIO 图表	38
4.4.2 说明	38
4.5. 计时器 0	40
4.5.1 框图	40
4.5.2 说明	40
4.6. 计时器 1	41
4.6.1 框图	41
4.6.2 说明	42
4.7. 计时器 2	42
4.7.1 框图	43
4.7.2 说明	43
4.8. Interrupt	45
4.8.1 说明	46
4.9. INT12	48
4.9.1 框图	48

4.9.2	说明.....	48
4.10.	UART.....	49
4.10.1	框图.....	49
4.10.2	说明.....	49
4.11.	SPI.....	51
4.11.1	框图.....	52
4.11.2	说明.....	53
4.12.	I ² C.....	53
4.12.1	框图.....	54
4.12.2	说明.....	54
4.13.	MDU (乘-除单元)	55
4.13.1	框图.....	55
4.13.2	说明.....	55
4.14.	看门狗.....	57
4.14.1	框图.....	57
4.14.2	说明.....	57
4.15.	邮箱.....	58
4.15.1	框图.....	58
4.15.2	说明.....	58
4.16.	访问 MSFR.....	58
4.16.1	说明.....	58
5.	模拟输入/输出	59
5.1.	ADC	59
5.1.1	框图.....	59
5.1.2	说明.....	60
5.2.	DAC	61
5.2.1	框图.....	61
5.2.2	说明.....	61
6.	保护	62
6.1.	故障功能.....	62
6.1.1	框图.....	62
6.1.2	说明.....	62
6.2.	电流保护.....	63
6.2.1	框图.....	63
6.2.2	说明.....	63
7.	电源管理	65
7.1.	上电和断电.....	65
7.2.	节能.....	65
8.	开发支持	66
8.1.	MCDS (电机控制开发系统)	66
8.2.	AMC 库.....	66
8.3.	片上调试支持 (OCDS)	66
8.3.1	说明.....	66

2. MSFR（特殊电机功能寄存器）

MSFR 是专门用于电机控制模组的寄存器；它们通过 SFR 进行访问。

电机控制、霍尔信号配置、波形类型、PWM 引擎和过流保护等级等参数可在 MSFR 中设置。

模数转换器 (ADC) 和控制器状态；如故障状态、霍尔状态和 PWM 状态；可通过 MSFR 获取。

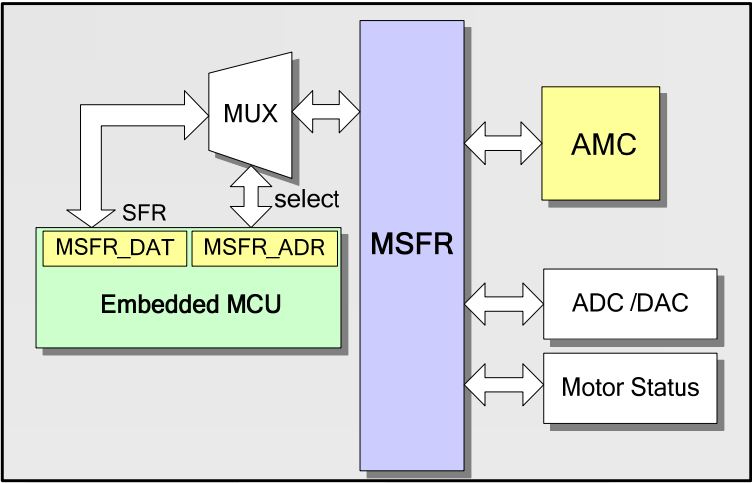


图 4. MSFR 框图

2.1. MSFR 映射

表 1. MSFR 映射

十六进制	X000	X001	X010	X011	X100	X101	X110	X111	十六进制
40	保留	保留	保留	睡眠	OCH	OCL	SHORT	DACO	47
38	保留	保留	保留	保留	保留	保留	角度	MSTAT	3F
30	ADC0L	ADC0H					ADC3L	ADC3H	37
28	VAL	VAH	VBL	VBH	VCL	VCH	ADCINX	保留	2F
20	IAL	IAH	IBL	IBH	ICL	ICH	OCCNTL	OCSTA	27
18	HALMXU	HALFLT	HALSTA	HALINT	HPERL	HPERM	HPERH	ADCCFG	1F
10	保留	保留		保留	保留	保留	保留	保留	17
08	PWMCFG	SAWCNTL	SPRDL	SPRDH	保留	保留	保留	保留	0F
00	MCNTL	ANGCTL	AS	ANGDET	DUTYAL	DUTYA	保留	保留	07

2.2. MSFR 说明

表 2. 特殊电机功能寄存器 (MSFR)

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
MCNTL	00h	00h	电机控制			
			7	W	保留	必须设置为 0
			6	R/W	AMC_RST	重置 AMC 核心, 高电平激活
			5	R/W	SIN_TBL	正弦波表选择 0: 默认正弦波表 1: 用户定义表
			4	R/W	SQU_TBL	方波表选择 0: 默认方形波表 1: 用户定义表
			3:2	W	保留	必须设置为 0
			1	R/W	CW	旋转方向 0: CCW 1: CW
			0	R/W	ST/FREE	FREE 或 START 0: FREE 1: START
ANGCTL	01h	00h	相角控制			
			7		保留	必须设置为 0
			6	R/W	ARNG	角度预测器范围 0: 低速 1: 正常
			5	W	保留	必须设置为 0
AS	02h	00h	4:0	不适用	不适用	不适用
			角度位移			
			7	不适用	不适用	不适用
ANGDET	03h	00h	6:0	R/W	ANG	位移角度 0 - 127 映射到 0 – 120°
			角度预测器配置			
			7	R/W	SIN_MAU	正弦波使能模式 0: 自动 1: 由 SIN_EA 使能
			6	R/W	SIN_EA	正弦波使能 0: 禁用 1: 使能
DUTYAL	04h	00h	5	不适用	不适用	不适用
			4:0	W	保留	必须设置为 0
			占空比控制			
			7:5	R/W	DUTY[2:0]	方形波模式: DUTY[2:0] 正弦波模式: DUTY[2]
			4	不适用	不适用	不适用
			3	W	保留	必须设置为 0
			2	W	保留	必须设置为 0
DUTYA	05h	00h	1	W	保留	必须设置为 0
			0	W	保留	必须设置为 0
			占空比			
PWMCFG	08h	00h	7:0	R/W	DUTY[10:3]	DUTY[10:3]
			PWM配置			
			7:6	R/W	保留	必须设置为 0

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			5:4	R/W	DT[1:0]	死区时间设置 00: $12 \times t_{SYS}$ (0.4 μs at 30 MHz) 01: $36 \times t_{SYS}$ (1.2 μs at 30 MHz) 10: $60 \times t_{SYS}$ (2.0 μs at 30 MHz) 11: $96 \times t_{SYS}$ (3.2 μs at 30 MHz)
			3	R/W	保留	必须设置为 0
			2	R/W	SYNCOFF	同步整流 (SR) 0: 使能 1: 禁用
			1	R/W	WMC	方波模式中的领先角功能 0: 禁用 1: 使能
			0	W	保留	必须设置为 0
SAWCNTL	09h	00h	SAW配置			
			7	R/W	ASCAL	自动比例 0: 禁用 1: 使能
			6:5	R/W	SAWMOD	SAW模式 00: 禁用 01: UP-DOWN 模式 10: UP 模式 11: DOWN 模式
			4:3	R/W	PRESCAL	SAW 时钟前量程 00: f_{SYS} 01: $f_{SYS}/2$ 10: $f_{SYS}/4$ 11: $f_{SYS}/8$
			2:0	R/W	邮政	SAW 时钟后缩放 000: 1 001: 1/2 010: 1/3 011: 1/4 100: 1/5 101: 1/6 110: 1/7 111: 1/8
SPRDL	0Ah	E0h	SAW周期			
			7:5	R/W	SPRD[2:0]	SAW 周期 [2:0]
			4:0	不适用	不适用	不适用
SPRDH	0Bh	FFh	SAW周期			
			7:0	R/W	SPRD[10:3]	SAW 周期 [10:3]
保留	0Ch - 11h	00h		W	保留	必须设置为 0
保留	13h - 17h	00h		W	保留	必须设置为 0
HALMUX	18h	00h	霍尔信号反相			
			7	不适用	不适用	不适用
			6	W	保留	必须设置为 1
			5	R/W	HC_INV	霍尔 C 输入反相 0: 非反相 1: 反相
			4	R/W	HB_INV	霍尔 B 输入反相 0: 非反相 1: 反相
			3	R/W	HA_INV	霍尔 A 输入反相

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						0: 非反相 1: 反相
			2:0	W	保留	必须设置为 0
HALFLT	19h	00h	霍尔配置			
			7	R/W	HAL_REG	霍尔调制 0: 禁用 1: 使能
			6:4	R/W	HAL_BNK	霍尔消隐时间 000: 禁用 001: $(5 - 6) \times 1024 t_{SYS}$ (170.7 - 204.8 μs at 30 MHz) 010: $(9 - 10) \times 1024 t_{SYS}$ 011: $(17 - 18) \times 1024 t_{SYS}$ 100: $(33 - 34) \times 1024 t_{SYS}$ 101: $(65 - 66) \times 1024 t_{SYS}$ 110: $(129 - 130) \times 1024 t_{SYS}$ 111: $(257 - 258) \times 1024 t_{SYS}$
			3	R/W	HAL_AVG	霍尔周期平均模式 0: 禁用 1: 使能
			2:0	R/W	HAL_DEB	霍尔去抖动时间 000: 禁用(2 - 3 t_{SYS}) 001: $(2 - 3) \times 64 t_{SYS}$ (4.3 - 6.3 μs at 30 MHz) 010: $(2 - 3) \times 128 t_{SYS}$ 011: $(2 - 3) \times 256 t_{SYS}$ 100: $(2 - 3) \times 512 t_{SYS}$ 101: $(2 - 3) \times 1024 t_{SYS}$ 110: $(2 - 3) \times 2048 t_{SYS}$ 111: $(2 - 3) \times 4096 t_{SYS}$
HALSTA	1Ah	00h	霍尔状态			
			7:3		保留	保留
			2	R	HALL_C_IN	角度预测器中的霍尔 C 状态
			1	R	HALL_B_IN	角度预测器中的霍尔 B 状态
			0	R	HALL_A_IN	角度预测器中的霍尔 A 状态
HALINT	1Bh	00h	霍尔中断配置			
			7:4	不适用	不适用	不适用
			3:2	R/W	HTMR_OUT	霍尔周期中断 (EX8) 00: 禁用 01: If Hall Counter [17] = 1 10: If Hall Counter [18] = 1 11: If Hall Counter [19] = 1
			1:0	R/W	HALL_INT	霍尔边沿中断 (EX10) 00: 禁用 01: 上升/下降沿 10: 上升沿 11: 下降沿
HPERL	1Ch	00h	霍尔期间			
			7:0	R	HPER [7:0]	霍尔周期 [7:0]
HPERM	1Dh	00h	霍尔期间			
			7:0	R	HPER [15:8]	霍尔周期 [15:8]
HPERH	1Eh	00h	霍尔期间			

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
ADCCFG	1Fh	00h	7:4	不适用	不适用	不适用
			3:0	R	HPER[19:16]	霍尔周期 [19:16]
			ADC配置			
			7	W	ADC_ST	ADC 信号触发器使能, ADC_TR= 仅计时器模式 0: N/A 1: ADC 转换触发 (单次采样, 自动清除)
			6	N/A	不适用	不适用
			5	R/W	DAC_EA	DAC 输出 (到 AOUT 引脚) 0: 禁用 1: 使能
			4	R/W	AD_CK	ADC时钟 0: $f_{SYS}/16$ 1: $f_{SYS}/32$
			3:2	R/W	FS_DIV	采样频率分频器 00: 1 01: 1/2 10: 1/4 11: 1/8
IAL	20h	0Ch	1:0	R/W	ADC_TR	ADC 触发模式选择 00: SAW 顶部 01: SAW 底部 10: TMR0 溢出
			ADC IA 配置和 ADC IA[1:0]			
			7:6	R	IA [1:0]	ADC IA [1:0]
			5:4	不适用	不适用	不适用
			3	W	保留	必须设置为 1
			2	R/W	Bias_A0	偏置电流 0: 禁用 1: 使能
IAH	21h	00h	1:0	R/W	GIA	前置放大器增益 00: $\times 1$ 01: $\times 2$ 10: $\times 4$
			ADC IA[10:2]			
			7:0	R	IA [10:2]	ADC IA [10:2]
			ADC IB 配置和 ADC IB[1:0]			
			7:6	R	IB [1:0]	ADC IB [1:0]
IBL	22h	0Ch	5:4	不适用	不适用	不适用
			3	W	保留	必须设置为 1
			2	R/W	Bias_B0	偏置电流 0: 禁用 1: 使能
			1:0	R/W	GIB	前置放大器增益 00: $\times 1$ 01: $\times 2$ 10: $\times 4$
IBH	23h	00h	ADC IB[10:2]			
			7:0	R	IB [10:2]	ADC IB [10:2]
ICL	24h	0Ch	ADC IC 配置和 ADC IC[1:0]			
			7:6	R	IC [1:0]	ADC IC [1:0]
			5:4	不适用	不适用	不适用
			3	W	保留	必须设置为 1

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			2	R/W	Bias_C0	偏压电流 0: 禁用 1: 使能
			1:0	R/W	GIC	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
ICH	25h	00h	ADC IC[10:2]			
			7:0	R	IC [10:2]	ADC IC [10:2]
OCCNTL	26h	00h	过流保护控制寄存器			
			7:6	R/W	OC_DEB	OC保护去抖时间 00: 600 - 900 ns 01: 900 - 1200 ns 10: 1200 - 1500 ns 11: 1500 - 1800 ns
			5	R/W	OCCH_EA	相位 C OCH 保护 0: 禁用 1: 使能
			4	R/W	OCBH_EA	相位 B OCH 保护 0: 禁用 1: 使能
			3	R/W	OCAH_EA	相位 A OCH 保护 0: 禁用 1: 使能
			2	R/W	OCCL_EA	相位 C OCL 保护 0: 禁用 1: 使能
			1	R/W	OCBL_EA	相位 B OCL 保护 0: 禁用 1: 使能
			0	R/W	OCAL_EA	相位 A OCL 保护 0: 禁用 1: 使能
OCSTA	27h	00h	OC 保护状态			
			7:6	不适用	不适用	不适用
			5	R	OCCH	相位 C OCH 标识, 读取后自动清除
			4	R	OCBH	相位 B OCH 标识, 读取后自动清除
			3	R	OCAH	相位 A OCH 标识, 读取后自动清除
			2	R	OCCL	相位 C OCL 标识, 读取后自动清除
			1	R	OCBL	相位 B OCL 标识, 读取后自动清除
			0	R	OCAL	相位 A OCL 标识, 读取后自动清除
VAL	28h	00h	ADC VA 配置和 ADC VA[1:0]			
			7:6	R	VA [1:0]	ADC VA[1:0]
			5:2	N/A	N/A	N/A
			1:0	R/W	GVA	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
VAH	29h	00h	ADC VA[10:2]			
			7:0	R	VA [10:2]	ADC VA[10:2]
VBL	2Ah	00h	ADC VB 配置和 ADC VB[1:0]			
			7:6	R	VB [1:0]	ADC VB[1:0]

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			5:2	N/A	N/A	N/A
			1:0	R/W	GVB	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
VBH	2Bh	00h	ADC VB[10:2]			
			7:0	R	VB [10:2]	ADC VB [10:2]
VCL	2Ch	00h	ADC VC 配置和 ADC VC[1:0]			
			7:6	R	VC [1:0]	ADC VC [1:0]
			5:2	N/A	N/A	N/A
			1:0	R/W	GVC	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
VCH	2Dh	00h	ADC VC[10:2]			
			7:0	R	VC [10:2]	ADC VC [10:2]
ADCINX	2Eh	00h	ADC 索引			
			7:4		保留	保留
			3:2	R	AD_INX[3:2]	电流 ADC 通道索引 00: VA 01: VB 10: VC 11: ADC0 或 ADC3 (需要检查 AD_INX[1:0])
			1:0	R	AD_INX[1:0]	ADC0/ADC3 的索引 00: ADC0 01: 保留 10: 保留 11: ADC3
保留	2Fh				保留	保留
ADC0L	30h	00h	ADC0 配置和 ADC0[1:0]			
			7:6	R	ADC0[1:0]	ADC0[1:0]
			5:2	N/A	N/A	N/A
			1:0	R/W	GADC0	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
ADC0H	31h	00h	ADC0[10:2]			
			7:0	R	ADC0[10:2]	ADC0[10:2]
ADC3L	36h	00h	ADC3 配置和 ADC3[1:0]			
			7:6	R	ADC3[1:0]	ADC3[1:0]
			5:2	N/A	N/A	N/A
			1:0	R/W	GADC3	前置放大器增益 00: ×1 01: ×2 10: ×4
ADC3H	37h	00h	ADC3 [10:2]			
			7:0	R	ADC3 [10:2]	ADC3 [10:2]
保留	38h - 3Dh	00h			保留	保留

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
角度	3Eh	00h	角度预测器结果			
			7:0	R	角度	0 - 191 映射到 0 – 360°
MSTAT	3Fh	00h	电机状态			
			7	R	VDD_TEST	用于内部测试
			6	R	H_SLOW	霍尔周期溢出
			5	R	SHORT_A	IA SHORT
			4	R	SHORT_B	IB SHORT
			3	R	SHORT_C	IC SHORT
			2	R	H_ERR	霍尔错误 (HA/HB/HC = 01-1-1 or 0/0/0)
			1	R	S_ACT	操作模式 0: 方波 1: 正弦波
			0	R	DIR	霍尔方向
保留	40 - 42h	00h	保留			
睡眠	43h	00h	睡眠模式			
			7:3	不适用	不适用	不适用
			2	W	保留	必须设置为 1
			1	W	保留	必须设置为 0
			0	R/W	休眠	睡眠模式 0: 禁用 1: 使能
OCH	44h	FFh	正 OC 保护等级			
			7:0	R/W	OCH	正 OC 保护等级 (00h - FFh 映射到 0 – 4 V)
OCL	45h	10h	负 OC 保护等级			
			7:0	R/W	OCL	负 OC 保护等级 (00h - FFh 映射到 0 - 4 V)
SHORT	46h	FFh	SHORT 检测电平			
			7:0	R/W	SHORT	SHORT 检测电平 (00h - FFh映射到0 - 4 V)
DACO	47h	00h	AOUT 输出电平			
			7:0	R/W	DACO	AOUT 输出电平 (00h - FFh 映射到 0 - 4 V)

3. 先进电机控制器

先进电机控制器 (AMC) 用于驱动由几个电机控制模块组成的电机，如可配置处理内核、PWM 引擎和角度预测器。根据不同应用，可配置处理内核可使用合适的 AMC 库来配置，以执行不同的电机控制算法，如 FOC 和无传感器控制。

例如，如果无传感器库用作控制算法，则可配置处理核通过内部 ADC 获取电机电流，以估算转子位置角度。之后，PWM 引擎提供 PWM 输出驱动信号，以设置正确的转子角度。

如果可配置处理核使用霍尔接口库配置，则通过 GPIO 输入转子位置信息，并通过角度预测器估算转子角度。PWM 引擎可以提供适当的 PWM 输出驱动信号以驱动电机。

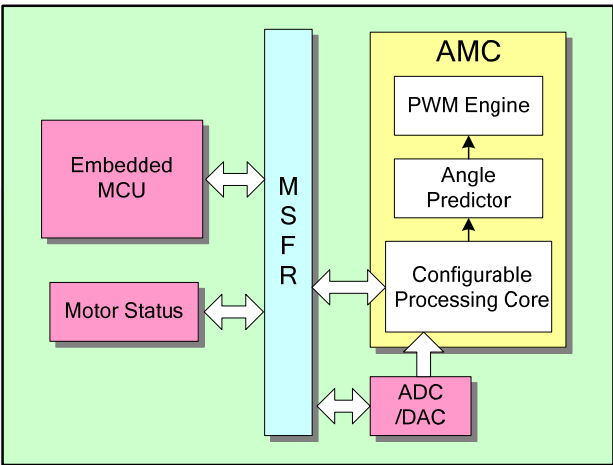


图 5. AMC 框图

3.1. 复位

MSFR MCNTL 的 AMC_RST 位 (00h) 用于复位 AMC 处理磁芯。建议在初始阶段复位 AMC 处理磁芯。

3.2. 角度预测器

当霍尔接口库用于正弦波控制时，霍尔信号用于准确预测电机的转子角度。此预测角提供空间向量调制 (SVM)，以产生空间向量脉冲。角度预测器包括霍尔信号过滤器、锁相环 (PLL)、角度位移和角度编码器。

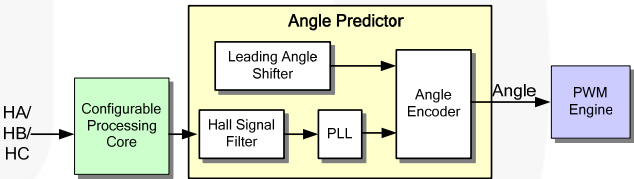


图 6. 角度框图

表 3. 角度预测器寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
ANGCTL (01h)	保留	ARNG	保留	不适用					00h
AS (02h)	N/A	ANG							00h
ANGDET (03h)	SIN_MAU	SIN_EA	不适用	保留					00h
HALMUX (18h)	不适用	保留	HC_INV	HB_INV	HA_INV	Reserved			00h
HALFLT (19h)	HAL_REG	HAL_BNK			HAL_AVG	HAL_DEB			00h
HALSTA (1Ah)	Reserved					HALL_IN			00h
HALINT (1Bh)	N/A				HTMR_OUT		HALL_INT		00h
HPERL (1Ch)	HPER[7:0]								00h
HPERM (1Dh)	HPER[15:8]								00h
HPERH (1Eh)	N/A				HPER[19:16]				00h
角度 (3Eh)	角度								00h

3.2.2 霍尔信号过滤器

霍尔信号过滤器的功能由 MSFR HALFLT (19h) 设置，包括去抖动、消隐、霍尔信号调制、霍尔信号平均和霍尔信号反相。

去抖动：

噪声或去抖动可包括在输入信号中，通常导致错误的角度预测。MSFR HALFLT (19h) 可设置去抖动时间，以滤除包括的噪声。当输入信号改变时，去抖动功能一直保持信号处于去抖动时间内，直到确认更改为止（参见图 7）。

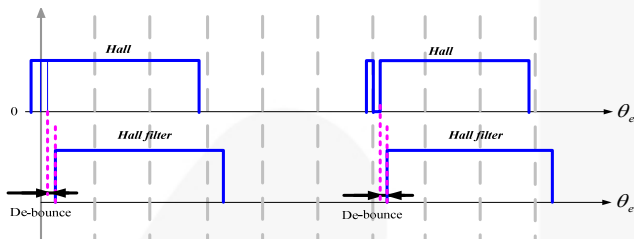


图 7. 霍尔过滤器去抖动

消隐：

用户可通过 HALFLT 设置消隐时间。一旦确认霍尔信号的更改，则不允许在消隐时间更新霍尔信号（参见图 8）。

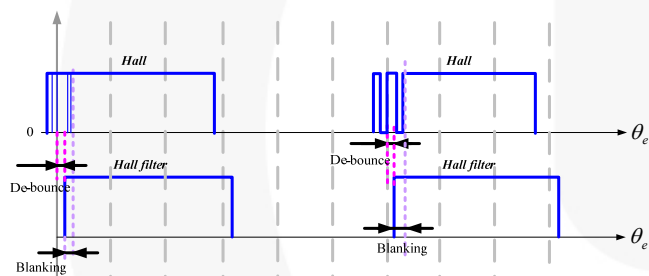


图 8. 霍尔过滤器消隐

调节：

如果霍尔信号返回其以前的状态，则此功能使 PWM 输出保持其当前状态。

不带霍尔调制；当霍尔信号返回到以前状态时（参见图 9），PWM 输出返回到以前状态（对应霍尔状态），所以 PWM U 输出关闭。但使用霍尔调制，PWM U 保持当前状态并保持输出 PWM 信号。

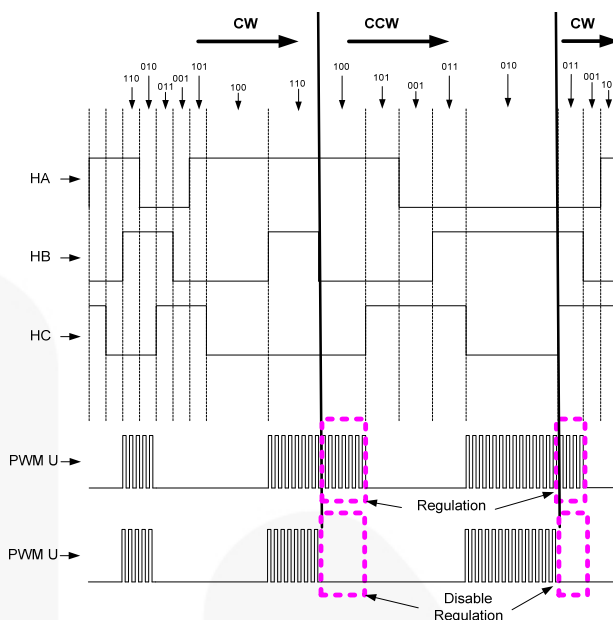


图 9. 霍尔调制

平均：

霍尔时间寄存器中存储的值表示最近 60 度电气角的时间（基于系统时钟）。通过平均功能使能数字滤波器，以减少周期变化。通过设置 MSFR HALFLT (19h)[3] 触发。

反相：

设置 MSFR HALMUX (18h)[5:3]，以在进入 PLL 之前反相霍尔信号（参见图 10）。

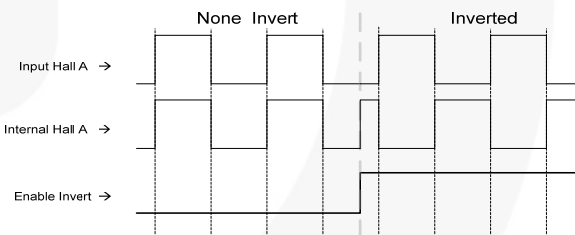


图 10. 霍尔反相

3.2.3 锁相环 (PLL)

PLL 将霍尔信号用作输入信号，并每 60 度电气角检测一次更改，以预测转子位置。电机以方波模式启动，一旦 PLL 锁定霍尔信号，则进入正弦波模式。

有两种模式可进入正弦波驱动。

自动模式（默认）：

MSFR ANGDET (03h)[7:6] = b'00。一旦旋转速度稳定并高于要求的最小速度时，PWM 驱动信号从方形波模式自动更改为正弦波模式。如果旋转速度不稳定或低于要求的最小速度，则其退出正弦波模式。可通过 MSFR ANGDET (03h)[4:0] 设置进入/退出条件。

手动模式：

MSFR ANGDET (03h)[7:6] = b'11. 强制 PWM 信号在正弦波模式下驱动。不推荐此模式。

霍尔信号输入有两个可选频率范围：低速模式（PLL 时钟 = $f_{\text{SYS}}/64$ ）和正常模式（PLL 时钟 = $f_{\text{SYS}}/4$ ）。Fairchild 建议对常规电机应用使用正常模式。可选择低速模式用于非常低速的操作。

表 4. 角度预测器范围 ($f_{\text{SYS}} = 30 \text{ MHz}$)

ANGCTL (01h)[6]	MODE	霍尔频率
0	低速	0.1 – 360 Hz
1	正常	1.5 – 1200 Hz

在下面的公式中定义霍尔频率和电机速度之间的转换：

$$\text{RPM} = \frac{120 \times \text{Hall freq.}}{\text{Poles}} \quad (1)$$

其中极数是电机中磁极数。

霍尔时间寄存器是一个 20 位计数器，表示上一个 60 度电气角的时间（基于系统时钟）。MSFR HPERL (1Ch) 存储位 0 - 7；MSFR HPERM (1Dh) 存储位 8 - 15；MSFR HPERH (1Eh) 存储位 16 - 19。下面给出了示例，以显示霍尔周期在 RPM 中如何转换成实际的旋转速度。

示例：霍尔周期寄存器 = 000515h，系统时钟 = 30 MHz，电机-极数 = 4

霍尔频率范围 = 低速模式

PLL 时钟周期 $\rightarrow 64 / (30 \times 106) = 2.133 \text{ } (\mu\text{s})$

霍尔周期寄存器 $\rightarrow 000515\text{h} = 1301$ （十六进制到十进制）

$1301 \times 2.133 = 2.775033 \text{ (ms / } 60^\circ)$, $2.775033 \times 6 = 16.650198 \text{ (ms / } 360^\circ)$

$1 / 16.65 \approx 60 \text{ (Hz)}$ ，霍尔频率 = 60 (Hz)

$$\text{RPM} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ (RPM)}$$

电机以极高速度旋转时，该分辨率可能不足；但可通过使用较高 PLL 时钟频率将频率模式切换到普通模式以提高分辨率。下面给出了示例以显示两种模式间的不同。

示例：系统时钟=30 MHz，霍尔频率 = 350 Hz

当霍尔频率范围=低速模式

PLL 时钟周期 $\rightarrow 64 / (30 \times 106) = 2.133 \text{ } (\mu\text{s})$

霍尔期间 = $1 / 350 = 2.857 \text{ (ms / } 360^\circ)$, $2.857 / 6 = 0.476 \text{ (ms / } 60^\circ)$

$(0.476 \text{ ms}) / (2.133 \text{ } \mu\text{s}) = 223.16 \text{ (0000DFh)}$

HPERH(1Eh) HPERM(1Dh) HPERL(1Ch)

00	00	DF	Register data
----	----	----	---------------

图 11. 霍尔时间寄存器 - 1

当霍尔频率范围=低速模式

PLL 时钟周期 $\rightarrow 4 / (30 \times 106) = 0.133 \text{ } (\mu\text{s})$

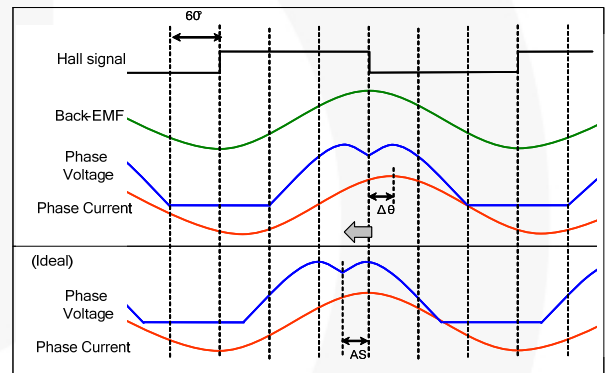
$(0.476 \text{ ms}) / (0.133 \text{ } \mu\text{s}) = 3578.94 \text{ (000DFAh)}$

HPERH(1Eh) HPERM(1Dh) HPERL(1Ch)

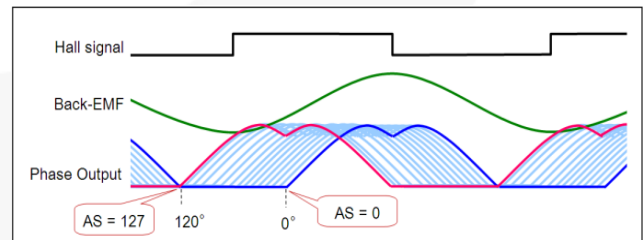
00	0D	FA	Register data
----	----	----	---------------

图 12. 霍尔时间寄存器 - 2**3.2.4 领先角位移器**

当电机旋转时，因为电机的线圈电感，可能会发生电流和反电动势 (BEMF) 之间相位滞后 ($\Delta\theta$)。通常，相位滞后随着速度增加会变大，且相位滞后影响电机频率。一般，一旦电流和 BEMF 位于相位中，就可获得最佳性能（参见图 13）。

**图 13. 角度位移**

领先角度位移器通过提前位移 PWM 能够补偿相位滞后。MSFR AS (02h) 是一个 7 位寄存器，可提前设置领先角度位移，范围从 0 到 120°。

**图 14. 角度位移****3.2.5 角编码器**

PWM 引擎根据角编码器输出 PWM 信号。角编码器汇总一个角度中的 PLL 计算结果和领先角度位移器设置，MSFR ANGLE (3Eh)。

3.3. PWM 引擎

PWM 引擎包括四个电路模块：SAW 发生器、方波 PWM 发生器、正弦波 PWM 发生器和 PWM MUX。

电机以方波模式启动，一旦 PLL 锁定霍尔信号，则进入正弦波模式。通过设置 MSFR ANGDET (03h)，用户可以确定在 PLL 锁定后 PWM 引擎是在方波模式下工作还是在正弦波模式下工作（参考第 3.2.3 节）

表 5. PWM 引擎寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
ANGDET (03h)	SIN_MAU	SIN_EA	N/A	保留					00h
DUTYAL (04h)	DUTY[2:0]			N/A	保留				00h
DUTYA (05h)	DUTY[10:3]								00h
PWMCFG (08h)	保留		DT[1:0]		保留	SYNCOFF	WMC	保留	00h
SAWCNTL (09h)	ASCAL	SAWMOD		PRESCAL		POSTCAL			00h
SPRDL (0Ah)	SPRD[2:0]			N/A					E0h
SPRDH (0Bh)	SPRD[10:3]								FFh

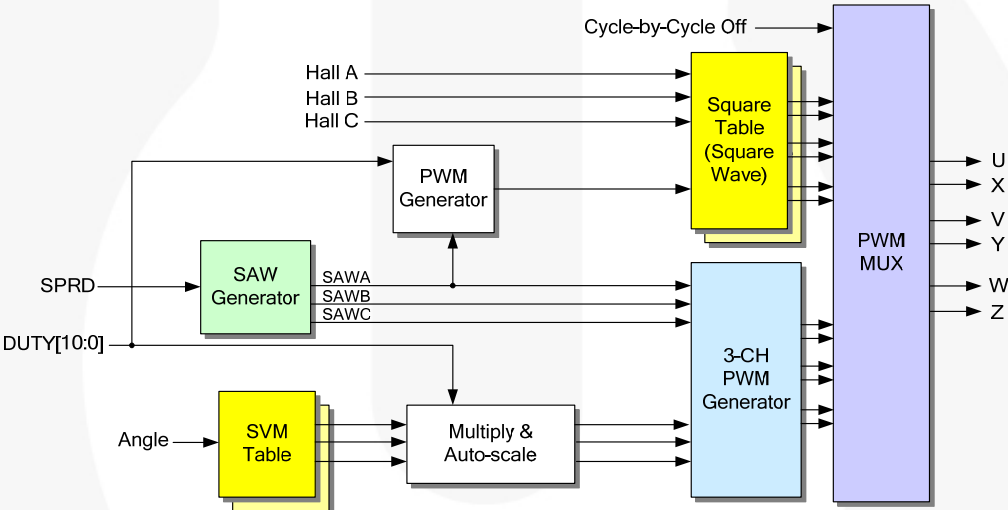


图 15. PWM 框图

3.3.1 SAW 发生器

SAW 发生器的时钟源是由系统时钟通过两个分频器的结果提供：前除器模块和后除器模块。它为 SAW 发生器内的 11 位计数器提供脉冲（SAW 时钟）（参见图 16）。

有三种模式的载波波形：Up 模式、Down 模式和 Up-Down 模式；通过 MSFR SAWCNTL (09h) 中的 SAWMOD 位选取（参见图 17）。

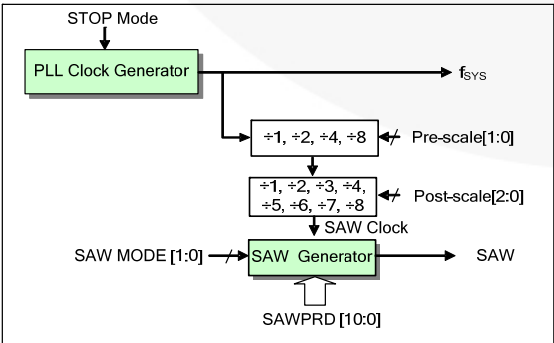


图 16. 前除器和后除器

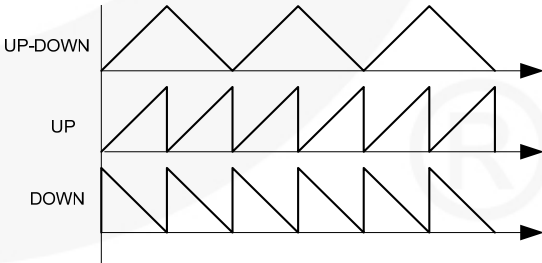


图 17. SAW 模式

在 Up-Down 模式中：

$$f_{\text{PWM}} = \text{SAW 时钟} / (\text{SAW 周期} \times 2) \tag{2}$$

在 Up 模式或 Down 模式中：

$$f_{\text{PWM}} = \text{SAW 时钟} / \text{SAW 周期} \tag{3}$$

SAW 周期由 MSFR SPRDH (0Bh) 和 MSFR SPRDL (0Ah) 确定 (11 位, 左对齐), 如图 18 中所示。在实际 SAW 周期写入到寄存器之前, 将其左移五位。PWM 占空比分辨率与 SAW 周期成比例。当 SAW 周期增加时, 分辨率更高。

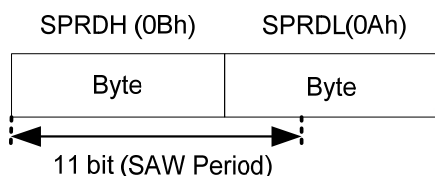


图 18. SAW 周期寄存器

前除器和后除器通过 MSFR SAWCNTL (09h)[4:0] 设置。SAWCNTL 的公式和说明如下:

$$\text{SAW 时钟频率} = f_{\text{SYS}} / (\text{后量程} \times \text{前量程}) \quad (4)$$

示例: 当系统频率为 30 MHz (根据等式) 时, 要获得 20 kHz 的 Up-Down 模式 (2) PWM 频率:

$$\text{SAW 周期} = 30 \text{ MHz} / (20 \text{ kHz} \times 2) = 750 = 2\text{EEh}$$

确定了对应 20 kHz PWM 频率的 SAW 周期, 750 (2EEh, 采用十六进制)。

将 “2EEh” 左移五位, 结果为 “5DC0h”。将 5Dh 和 C0h 写入到寄存器 SPRDH (0Bh) 和 SPRDL (0Ah) 中, 以完成设置。

3.3.2 方波模式

方波 PWM 发生器产生方波 PWM 信号, 且其默认模式基于内置默认方波表。

除了生成默认的方波 PWM 输出波形外, 还提供可定制的用户定义方波表, 以便用户可以根据应用要求定义自定义的方波波形。

电机在方形波模式下启动, 如果 ANGDET (03h)[7:6] 的最高两位设置为 b'10, 则在 PLL 锁定后, 其保持处于方波模式。

PWM 占空比中的 PWM 导通时间与 DUTY[10:0] 和 SAW 周期的比成比例。例如, 当 DUTY[10:0] = 200h 且 SAW 周期 = 400h 时, PWM 导通时间 = 50%。类似地, 当 SAW 周期 = 800h 时, PWM 导通时间 = 25%。

方波模式中的 DUTY[10:0] 是 11 位寄存器, 由 DUTYA (05h) 和 DUTYAL (04h) 的最高三位组成。DUTYA 是高位字节。

如图 19 中所示, 当 PWM 导通时间的计数值与 SAW 周期的相同时, PWM 具有最大的导通时间。导通时间设置应落在 SAW 周期范围内。

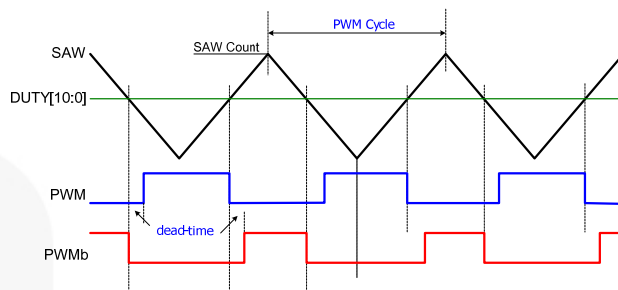


图 19. PWM 输出

适合的 PWM 输出信号由霍尔输入信号或霍尔寄存器的模式确定, 而方向由 CW 设置确定。

表 6 显示关于 CW 的每个霍尔状态中的 PWM 输出信号。

表 6. 默认方波 PWM 输出

CW	霍尔状态 (HA HB HC)	U-V-W	X-Y-Z
X	0 0 0	0 0 0	0 0 0
X	1 1 1	0 0 0	0 0 0
1	0 0 1	P 0 0	Pb 1 0
1	0 1 1	0 0 P	0 1 Pb
1	0 1 0	0 0 P	1 0 Pb
1	1 1 0	0 P 0	1 Pb 0
1	1 0 0	0 P 0	0 Pb 1
1	1 0 1	P 0 0	Pb 0 1
0	1 0 1	0 0 P	1 0 Pb
0	1 0 0	0 0 P	0 1 Pb
0	1 1 0	P 0 0	Pb 1 0
0	0 1 0	P 0 0	Pb 0 1
0	0 1 1	0 P 0	0 Pb 1
0	0 0 1	0 P 0	1 Pb 0

注:

1. X: 无关
2. P: PWM
3. Pb: PWM 反相

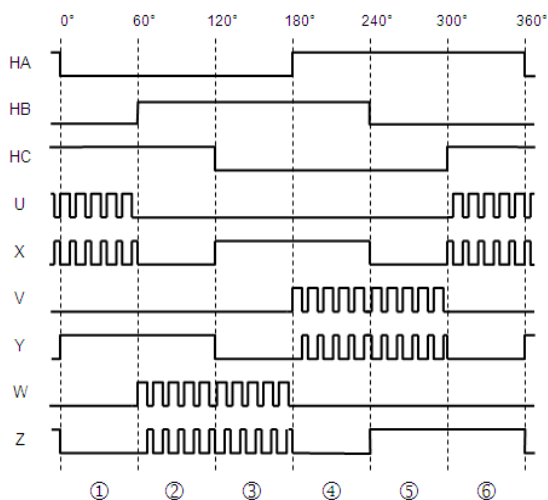
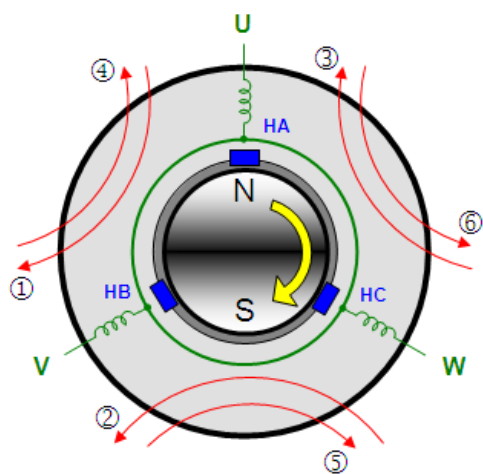


图 20. 方波模式 (CW = 1)

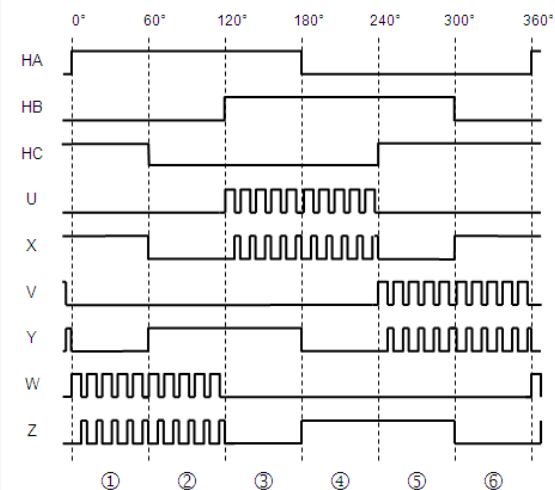
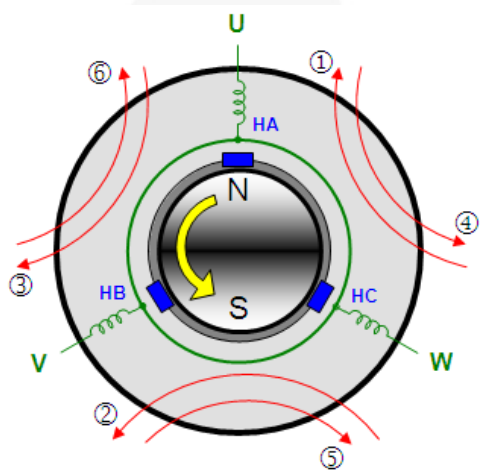


图 21. 方波模式 (CW = 0)

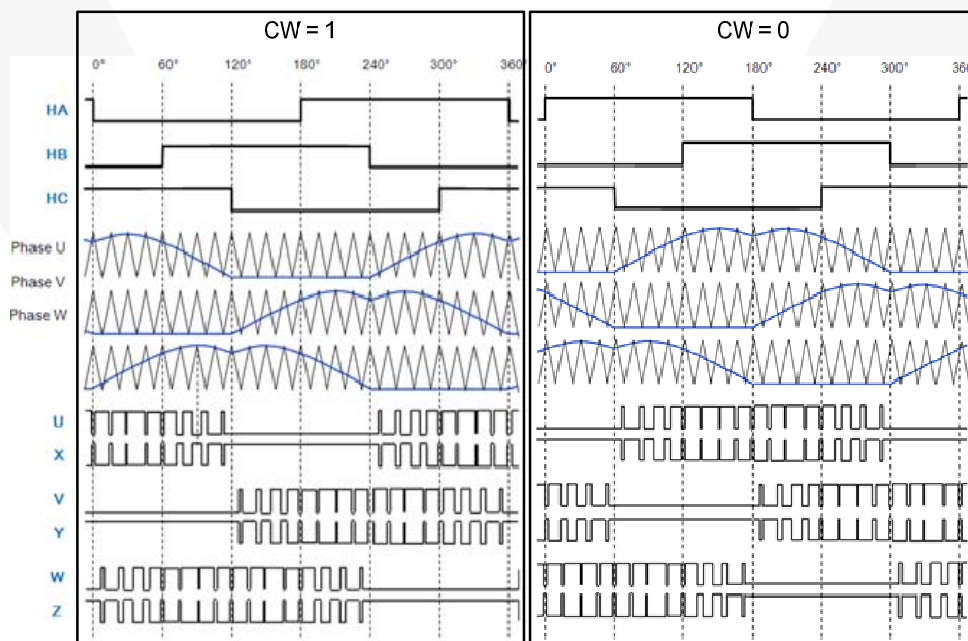


图 22. 正弦波模式

在表 6 上面, Pb (PWM 反相) 可通过禁用同步整流功能关闭。通过设置 MSFR PWMCFG (08h)[2] 触发。使能默认。

3.3.3 正弦波模式

图 22 显示调制波形 (蓝色曲线) 根据预测角从 SVM 表生成。调制波形与 SAW 相比较, 以产生正弦波 PWM 信号。调制波形的幅度由占空比 [10:2] 寄存器确定。与方波模式不同, 占空比 [1:0] 在正弦波模式中被忽略。

3.3.4 自动 SAW 对齐功能

如果在 MSFR SAWCNTL 中自动 SAW 对齐功能开启, 则占空比的最高位 (位 10) 与 SAW 周期的有效最高位对齐。它便于用户控制占空比, 仅通过寄存器的一个字节 DUTYA 即可, 无需移位。

示例:

SAW 周期是 11 位寄存器。为了简单起见, 它左移五位。例如, 当 SAW 周期 = 3FFh 时, 它变为 7FE0h。所以 DUTY[10:0] 和 5 位移动的 DUTY[10:0] 称为占空比。

当自动 SAW 对齐关闭且 PWM 模式为方波模式时; 如果 SAW 周期为 7FE0h, 设置 DUTY = 7FE0h, 以获取具有最大占空比的 PWM 输出 (参见图 23)。

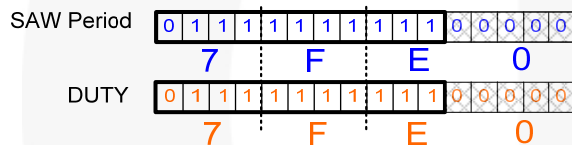


图 23. 自动SAW对齐禁用

当自动 SAW 对齐开启时, 但用户应设置 DUTY = FFC0h 以达到最大占空比, 因为 DUTY 与 SAW 周期的第一个有效位对齐 (参见图 24)。

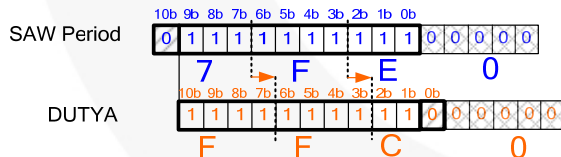


图 24. 自动 SAW 对齐使能

当自动 SAW 对齐打开时, DUTY 和 SAW 之间的关系如图 25 中所示。

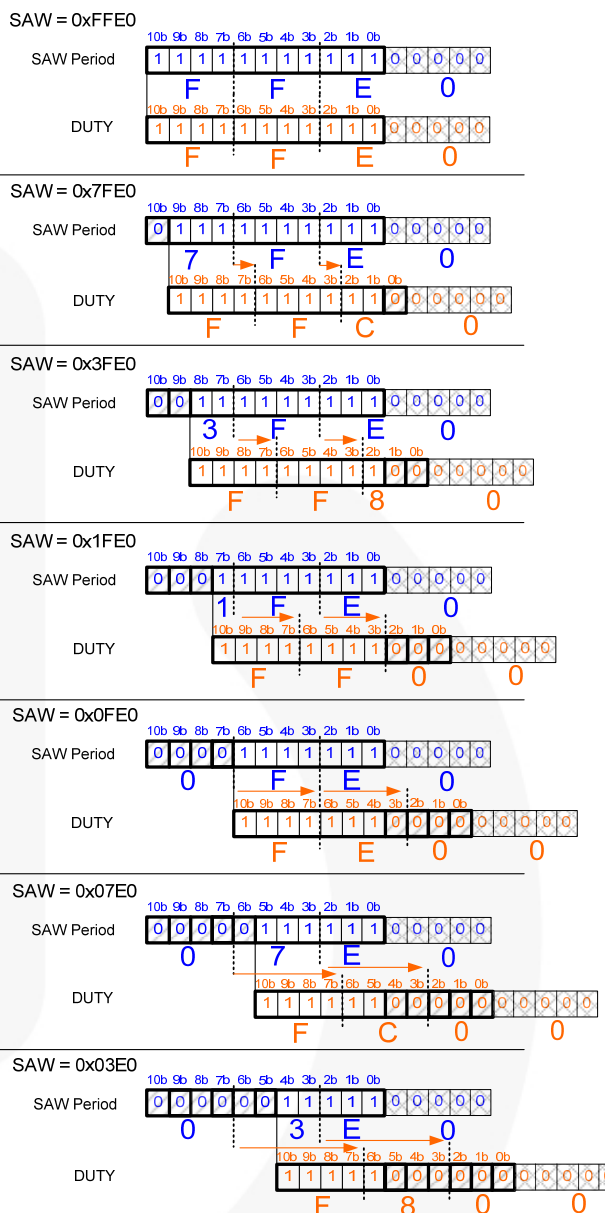


图 25. 自动 SAW 对齐功能

3.3.5 死区时间

死区时间在 MSFR PWMCFG (08h) 中设置。此功能可防止逆变由于高压端和低压端之间交叉导通导致烧坏。死区时间的值根据逆变的上升/下降时间 (FET 或 IGBT) 设置。

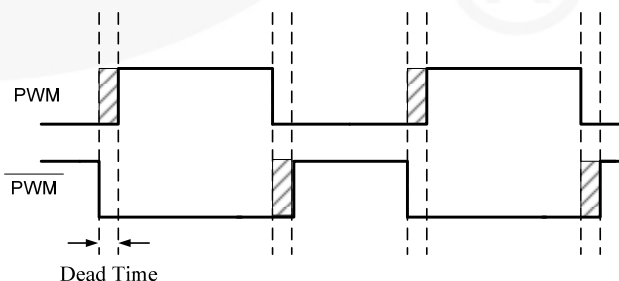


图 26. 死区时间

3.4. 霍尔边沿中断

通过 MSFR HALINT (1Bh)，用户可启用霍尔边沿中断，并可选择三个触发类型：上升/下降触发、上升触发和下降触发（参见图 27）。

当霍尔信号的上升/下降与 HALL_INT 的设置匹配时，触发中断。设置 HALL_INT = b'00，以禁用霍尔边沿中断。请注意，要启用中断，除了 HALL_INT，EX10 也应启用。

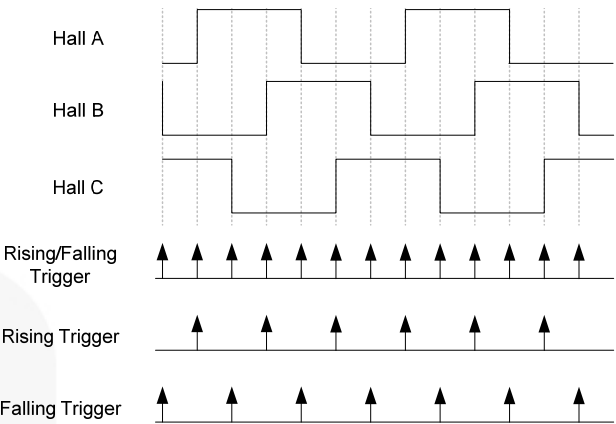


图 27. 霍尔边沿中断触发模式

表 7. 霍尔信号控制寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
HALINT (1Bh)	不适用				HTMR_OUT		HALL_INT		00h

表 8. 用户定义的表寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
MCNTL (00h)	保留	AMC_RST	SIN_TBL	SQU_TBL	保留	CW	ST/FREE		00h

3.5. 用户定义表

除了默认的方波和正弦波 PWM 输出波形外，可通过用户定义表获得两个可定制的用户定义方波和正弦波 PWM 输出波形（参见表 8）。

用户定义表位于程序内存的特定区 2F00h - 2FDEh 中，通过 MSFR MCNTL (00h)[5:4] 设置，如图 29 中所示。

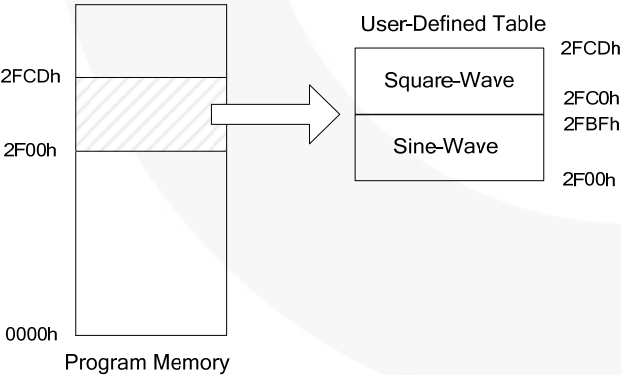


图 28. 用户定义表

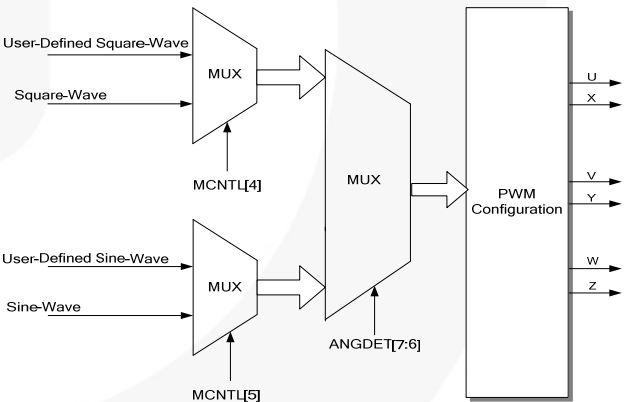


图 29. 用户定义表框图

3.5.1 用户定义方波表

用户定义的方波表位于 2FC0h - 2FCDh 中，总共包括 12 个地址。头六个地址对应于 CW = 1，最后六个地址对应于 CW = 0。

六个字节中的每个字节代表一个对应于霍尔状态的特定 60 度电气角度，如表 9 中所示。

存储的代码从 0 到 5，表示高/低侧信号的不同组合。该表仅定义了相位 U，但相位 V 和相位 W 的信号通过分别参照相位 U 移动 120 度和 240 度电角度自动生成。

表 9. 用户定义的方波 PWM

地址	CW	霍尔状态 (HA HB HC)	代码																				
2FC0h	1	0 0 1	<table><tr><th>代码</th><th>高侧</th><th>低侧</th></tr><tr><td>0</td><td>关</td><td>关</td></tr><tr><td>1</td><td>关</td><td>导通</td></tr><tr><td>2</td><td>导通</td><td>关</td></tr><tr><td>4</td><td>PWM</td><td>/PWM</td></tr><tr><td>5</td><td>/PWM</td><td>PWM</td></tr></table>			代码	高侧	低侧	0	关	关	1	关	导通	2	导通	关	4	PWM	/PWM	5	/PWM	PWM
代码	高侧	低侧																					
0	关	关																					
1	关	导通																					
2	导通	关																					
4	PWM	/PWM																					
5	/PWM	PWM																					
2FC1h	1	0 1 1																					
2FC2h	1	0 1 0																					
2FC3h	1	1 1 0																					
2FC4h	1	1 0 0																					
2FC5h	1	1 0 1																					
2FC6h	0	1 0 1																					
2FC7h	0	1 0 0																					
2FC8h	0	1 1 0																					
2FC9h	0	0 1 0																					
2FCAh	0	0 1 1																					
2FCBh	0	0 0 1																					
2FCCh	X	0 0 0																					
2FCDh	X	1 1 1																					

示例：要求的 PWM 显示在图 30 中。

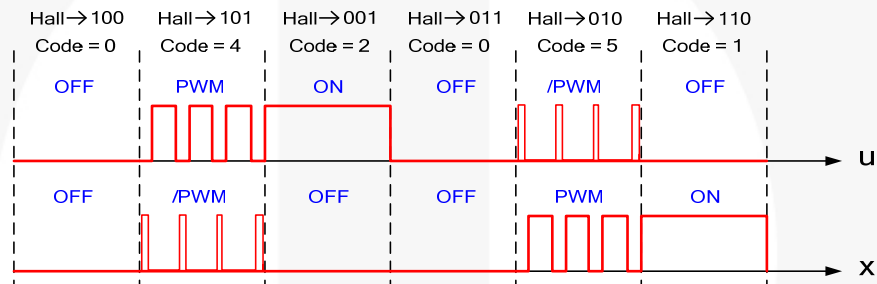


图 30. 要求的波形

用户可根据适合的霍尔信号和 CW，在高侧/低端侧表 10 使用中要求的波形填充字段。用户可找到对应高侧和低侧 PWM 信号组合的代码值，并在表 9 中填充代码值。这些代码必须存储在程序内存 2FC0h 到 2FCDh 中。

表 10. 用户定义的方波表地址（示例）

地址	CW	霍尔状态 (HA HB HC)	代码	高侧：	低侧
2FC0h	1	0 0 1	2	ON	OFF
2FC1h	1	0 1 1	0	OFF	OFF
2FC2h	1	0 1 0	5	/PWM	PWM
2FC3h	1	1 1 0	1	关	导通
2FC4h	1	1 0 0	0	关	关
2FC5h	1	1 0 1	4	PWM	/PWM
2FC6h	0	1 0 1	1	关	导通
2FC7h	0	1 0 0	0	关	关
2FC8h	0	1 1 0	4	PWM	/PWM
2FC9h	0	0 1 0	2	导通	关
2FCAh	0	0 1 1	0	关	关
2FCBh	0	0 0 1	5	/PWM	PWM
2FCCh	X	0 0 0	0	关	关
2FCDh	X	1 1 1	0	关	关

3.5.2 用户定义的正弦波表

用户定义的正弦波表位于程序内存 2F00h - 2FBFh 中，且 192 个地址对应于 360 度电气角度。电气角度 0° 位于 2F00h 中，并对齐于霍尔 A 的上升沿。

用户可使用值 0 - 31 填充地址，以描述调制波形。该表仅定义了相位 U，但相位 V 和相位 W 的信号可通过从相位 U 分别移动 120 度和 240 度自动生成。

示例：要输出梯形波形，则要求的调制波形类似于图 31。

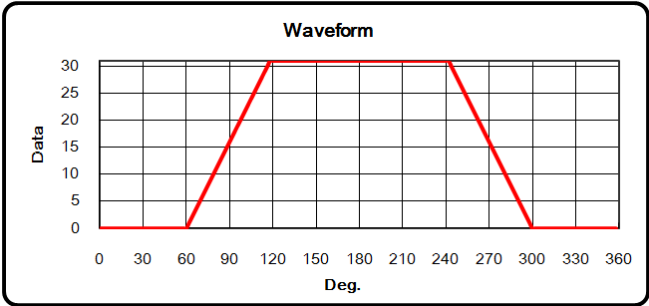


图 31. 要求的调制波形

因此，用户可填充表 11 中的“输入值”列，以根据适合的电气角度描述要求的调制波形。

表 11. 用户定义的正弦波表地址（示例）

地址	电气角度	输入值	注意
2F00h - 2F1Fh	0 – 59°	0	无幅度
2F20h - 2F3Fh	60 – 119°	0 - 31	逐步增加
2F40h - 2F5Fh	120 – 179°	31	最大幅度
2F60h - 2F7Fh	180 - 239°	31	最大幅度
2F80h - 2F9Fh	240 - 299°	31 - 0	逐步减少
2FA0h - 2FBFh	300 - 359°	0	无幅度

这些代码必须存储在程序内存 2F00h 到 2FBFh 中。

4. 嵌入式 MCU

FCM8531 的嵌入式 MCU 的指令集与 MCS[®]51 完全兼容。用户可使用标准 805x 汇编器和编译器研发软件。嵌入式 MCU 使用高级指令架构 (AIA) 显著提高了性能。与传统的 8051 相比, AIA 执行周期的 63% 少于三 (3) 个系统时钟 (3T)。

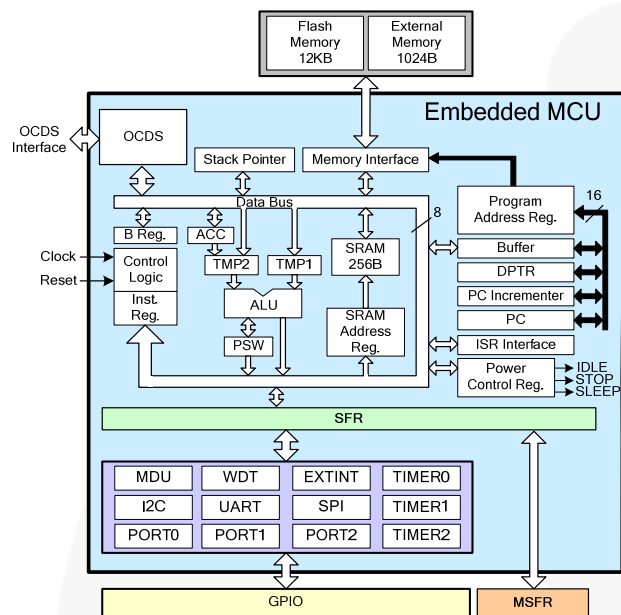


图 32. 嵌入式 MCU 框图

4.1. 内存组织

类似于标准 8051, FCM8531 内存也分成两部分: 程序内存和数据内存。

嵌入式 MCU 具有 12 千字节的闪存, 同程序内存一样。内部数据内存和外部数据内存由 256 字节和 1 千字节高速静态随机存取内存 (SRAM) 组成。

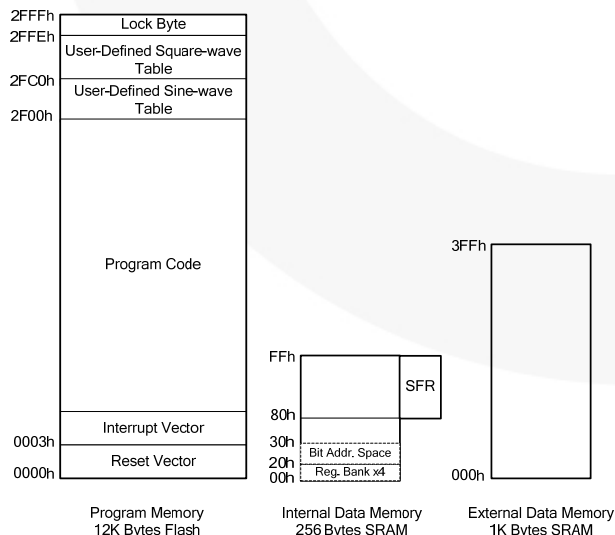


图 33. 嵌入式 MCU 的内存映射

除了现有 8051 MCU 功能, 如 GPIO、TIMER 0/1/2、ISR 和 UART 外; 其他通信接口, 如 SPI、I²C 和 WDT (看门狗计时器), 也集成到嵌入式 MCU 中。此外, 提供了片上调试支持 (OCDS)、系统内编程 (ISP) 和改进的乘-除单元 (MDU) 模块进行系统调试、程序下载和更快速的计算。

嵌入式 MCU 能够访问 MSFR 中的数据, 并通过特殊功能寄存器 (SFR) 将数据传输到 AMC。

4.1.1 程序内存

嵌入式 MCU 中 12 千字节闪存带有 ISP 功能, 其允许程序代码在线更新。闪存分为两部分, 程序代码区和特殊用途区。地址 0000h - 2EFFh 定义程序代码区; 高于 2EFFh 的地址定义特殊用途区, 其包括用户定义波表和一个锁定字节。如果锁定字节的最高有效位为 0, 则 OCDS 功能禁用。当锁定字节中的其他位为 0 时, 闪存加密。

闪存中的数据在覆写之前必须首先清除到 FFh。

注意: 在 ISP 模式中, 引脚 P12 和 P13 成为 ISP 功能引脚。为确保正确运行 ISP, 请勿将两个引脚设置为直接驱动器模式。这两个引脚上的电容必须尽可能小。

尽管 SFR CKCON 寄存器可以调节程序内存和数据内存的等待状态, 但建议设置最高速度 (CKCON = 00h), 以实现最佳性能。

在上电或复位期间, 程序在程序内存到 0000h 的地址上启动。嵌入式 MCU 提供 16 个中断。中断服务例行程序的向量在程序内存的地址 0003h - 00ABh 上分配。当发生中断时, 程序自动跳到适合的中断向量, 以执行中断服务子例程。中断向量显示在表 12 中:

表 12. 中断向量

中断源	中断向量	符号
外部中断 0	0003h	EX0
定时器 0 溢出	000Bh	ET0
外部中断 1	0013h	EX1
Timer 1 Overflow	001Bh	ET1
串行	0023h	ES0
定时器 2	002Bh	ET2
I ² C	0043h	EX7
SPI	004Bh	EX2
COM0	0053h	EX3
COM1	005Bh	EX4
COM2	0063h	EX5
FAULT	008Bh	EX8
ADC 就绪	0093h	EX9
霍尔边沿	009Bh	EX10
AMC	00A3h	EX11
外部中断 12	00ABh	EX12

4.1.2 数据存储

嵌入式 MCU 的数据内存分成两部分：256 字节内部数据内存和 1 千字节外部数据内存。内部数据内存中的头 128 个字节 (00h - 7Fh) 允许直接访问地址，其包括四个寄存器库、位图地址和通用直接寻址区。数据内存中的末尾 128 个字节 (80h - FFh) 与 SFR 交叠，以在直接寻址时访问 SFR；但当间接寻址时，其读和写 SRAM。

外部数据内存的大小为 1 千字节。使用 MOVX 指令通过数据指针 (DPTR) 或 R0/R1 (页面模式) 间接寻址，以便需要更多指令周期访问数据。

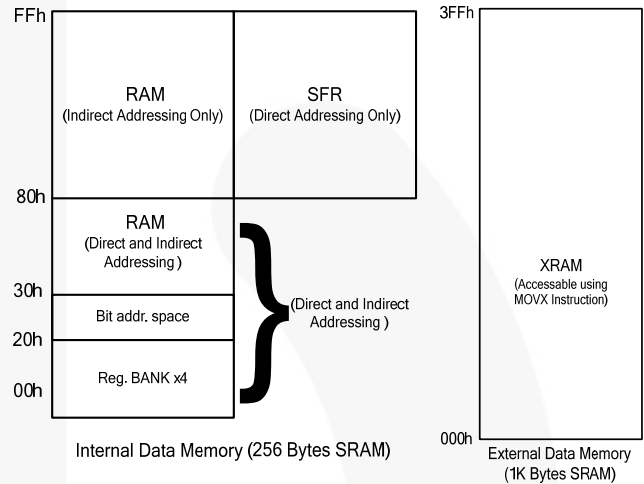


图 34. 数据内存

4.2. 复位

有三个复位方法：上电复位 (POR)、软件复位和通过 RST 引脚上的高电平输入复位。复位后，P0[7:2] 设置为 PWM 输出，且初始处于低电平。P1[7:0] 和 P2[6:4] 设置为开漏输出并初始拉至高电平。程序开始从存储在 SFR PC 中的地址 0000h 执行。累加器和标志清除且其他寄存器设置为初始状态。

4.2.1 上电复位

当 V_{DD} 超过 V_{DD_ON} 时，电压产生模块的操作开始提供所需的电力给 FCM8531 的内部电路。随后，上电复位 (POR) 功能使能，且时钟发生器启动。大约两毫秒后，复位状态移除且 MCU 程序开始执行。

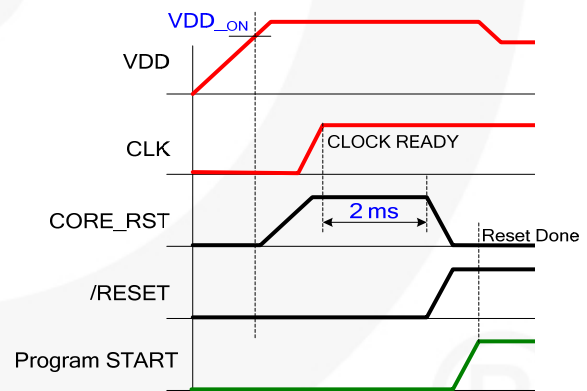


图 35. 上电复位序列

4.2.2 硬件复位

按下开关时，复位引脚设置为高电平，且 FCM8531 进入复位状态，复位引脚返回到低电平，当开关释放且 RC 时间已过时，FCM8531 开始执行程序。

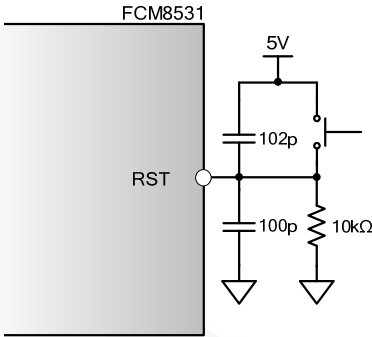


图 36. 硬件复位

4.2.3 软件复位

内部软件复位功能通过 SFR SRST (F7h) 设置，以复位嵌入式 MCU。

4.3. SFR（特殊功能寄存器）

FCM8531 的嵌入式 MCU 中的 SFR 使用直接寻址访问。

表 13. 特殊功能寄存器映射

十六进制	X0h/X8h	X1h/X9h	X2h/XAh	X3h/XBh	X4h/XCh	X5h/XDh	X6h/XEh	X7h/XFh	十六进制
F8	P0_CFG	IO_CFG	INT12_CFG	INT12_STA	DRV0	DRV1	DRV2		FF
F0	B							SRST	F7
E8		MD0	MD1	MD2	MD3	MD4	MD5	ARCON	EF
E0	ACC	SPSTA	SPCON	SPDAT	SPSSN				E7
D8	ADCON		I2CDAT	I2CADR	I2CCON	I2CSTA			DF
D0	PSW								D7
C8	T2CON		CRCL	CRCH	TL2	TH2			CF
C0	IRCON	CCEN	CCL1	CCH1	CCL2	CCH2			C7
B8	IEN1	IP1	SRELH					IRCON2	BF
B0	MTX0	MTX1	MTX2	MTX3	MRX0	MRX1	MRX2	MRX3	B7
A8	IEN0	IP0	SRELL						AF
A0	P2								A7
98	SCON	SBUF	IEN2						9F
90	P1		DPS	DPC			MSFRADR	MSFRDAT	97
88	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1	CKCON		8F
80	P0	SP	DPL	DPH	DPL1	DPH1	WDTREL	PCON	87

表 14. 特殊功能寄存器说明

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
P0	80h	FFh	端口 0			
			7:0	R/W	P0 [7:0]	端口 0
SP	81h	07h	栈指示			
			7:0	R	SP	栈指示
DPL	82h	00h	数据指针低字节			
			7:0	R/W	DPL	数据指针低字节
DPH	83h	00h	数据指针高字节			
			7:0	R/W	DPH	数据指针高字节
DPL1	84h	00h	数据指针 1 低字节			
			7:0	R/W	DPL1	数据指针 1 低字节
DPH1	85h	00h	数据指针 1 高字节			
			7:0	R/W	DPH1	数据指针 1 高字节
WDTREL	86h	00h	监视定时器重载寄存器			
			7	R/W	WDPS	前除器选择 0: 正常比例 1: 1/16 比例 置位时, 看门狗通过附加的前除器计时 (除以 16)
			6:0	R/W	WDTPER	看门狗重新载入值 重新载入看门狗计时器的最高七位值。当通过位 WDT (IEN 0.6) 和 SWDT (IEN 1.6) 的连续设置触发刷新时, 该值加载到看门狗计时器
PCON	87h	08h	功率控制			
			7	R/W	SMOD	串行端口波特率选择 (波特率加倍) 0: $f_{sys}/64$ 1: $f_{sys}/32$
			6	R/W	WDT_TM	看门狗计时器测试模式标志 0: 看门狗通过前量程 ($f_{sys}/12$) 计时 1: 跳过前除器 (仅测试模式)
			5	R/W	ISR_TM	中断服务例程测试模式标志
			4:2		保留	必须设置为 0
			1	R/W	停止	停止模式控制
			0	R/W	IDLE	空闲模式控制
TCON	88h	00h	计时器/计数器控制寄存器			
			7	R/W	TF1	计时器 1 溢出标志 当计时器 1 溢出时, 通过硬件设置 TF1 可以通过软件将其清除, 且当进入中断时其自动清除
			6	R/W	TR1	计时器 1 运行控制 0: Stop 1: Run
			5	R/W	TF0	计时器 0 溢出标志 当计时器 0 溢出时, 通过硬件设置 TF0。 可以通过软件将其清除, 且当进入中断时其自动清除。
			4	R/W	TR0	计时器 0 运行控制 0: Stop 1: Run
			3	R/W	IE1	外部中断 1 标志
			2	R/W	IT1	外部中断 1 类型控制

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						0: 低电平触发 1: 下降沿触发
			1	R/W	IE0	外部中断 0 标志
			0	R/W	IT0	外部中断 0 类型控制 0: 低电平触发 1: 下降沿触发
TMOD	89h	00h	计时器模式控制寄存器			
			7	R/W	GATE1	计时器 1 栅极控制 0: 禁用外部栅极控制 1: 使能外部栅极控制（引脚 INT1）。当 INT1 为高电平并设置了 TR1 时，引脚 T1 每个下降沿的计数器 1 增加。
			6	R/W	C/T1	计时器 1 计数器/计时器选择 0: 计时器模式 1: 计数器模式（T1 引脚上的每个下降沿增加）
			5:4	R/W	T1MOD	计时器 1 模式控制 00: 13 位计数器/计时器，TL1 中的五个低位，TH1 中的八个位 01: 16 位计数器/计时器 10: 8 位自动重新载入计数器/计时器。重新载入值为 TH1。 11: 计时器1停止
			3	R/W	GATE0	计时器 0 栅极控制 0: 禁用外部栅极控制。 1: 使能外部栅极控制（引脚 INT0）。当 INT0 为高电平并设置了 TR0 时，引脚 T0 每个下降沿的计数器 0 增加。
			2	R/W	C/T0	计时器 0 计数器/计时器选择 0: 计时器模式 1: 计数器模式（T0 引脚上的每个下降沿增加）
			1:0	R/W	T0MOD	计时器 0 模式控制 00: 13 位计数器/计时器，五个低位在 TL0 中，八个位在 TH0 中 01: 16 位计数器/计时器 10: 8 位自动重新载入计数器/计时器。重新载入值在 TH0 中。 11: 计时器 0 用作两个独立的 8 位 计时器/计数器 TL0、TH0
TL0	8Ah	00h	计时器 0，低字节			
			7:0	R/W	TL0	计时器 0，低字节
TL1	8Bh	00h	计时器 1，低字节			
			7:0	R/W	TL1	计时器 1，低字节
TH0	8Ch	00h	计时器 0，高字节			
			7:0	R/W	TH0	计时器0，高字节
TH1	8Dh	00h	计时器 1，高字节			
			7:0	R/W	TH1	计时器 1，高字节
CKCON	8Eh	71h	时钟控制寄存器			
			7	N/A	N/A	N/A
			6:4	R/W	PMCYC	程序内存等待状态控制

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			3	N/A	N/A	N/A
			2:0	R/W	XRAMCYC	外部数据内存延伸周期控制
P1	90h	FFh	端口 1			
			7:0	R/W	P1 [7:0]	端口 1
DPS	92h	00h	数据指针选择寄存器			
			7:4	N/A	N/A	N/A
			3	R/W	BSE	触排开关使能（使能 PSW 的 RS0、RS1）
			2:0	R/W	DPSEL2 DPSEL1 DPSEL0	数据点寄存器选择
DPC	93h	00h	数据点控制寄存器			
			7:6	N/A	N/A	N/A
			5:3	R/W	DPC[5:3]	下一个数据指针选择
			2	R/W	DPC[2]	自动修改大小 0: 当 DPC[0] = 1 时, 当前 DPTR 在每个 MOVX@DPTR 指令后自动修改 1 个单位值。 1: 当 DPC[0] = 2 时, 当前 DPTR 在每个 MOVX@DPTR 指令后自动修改 2 个单位值。
			1	R/W	DPC[1]	自动修改方向 0: 当 DPC[0] = 1 时, 当前 DPTR 在每个 MOVX@DPTR 指令后自动增加。 1: 当 DPC[0] = 1 时, 当前 DPTR 在每个 MOVX@DPTR 指令后自动减少。
			0	R/W	DPC[0]	自动修改使能 设置时, 当前 DPTR 在每个 MOVX@DPTR 指令后自动增加。
MSFRADR	96h	00h	MSFR 地址 (00h - 7Fh)			
			7:0	R/W	MSFRADR	MSFR 地址 (00h - 7Fh)
MSFRDAT	97h	00h	访问 MSFR 数据			
			7:0	R/W	MSFRDAT	MSFR 数据
SCON	98h	00h	串行端口, 控制寄存器			
			7:6	R/W	SM0 (SM1)	串行端口模式选择 (SM0、SM1) 00: 移位寄存器, $f_{\text{SYS}}/12$ (模式 0) 01: 8 位 UART, 变量 (模式 1) 10: 9 位 UART (模式 2) SMOD=0 $\rightarrow f_{\text{SYS}}/64$, SMOD=1 $\rightarrow f_{\text{SYS}}/32$ 11: 9 位 UART, 变量 (模式 3)
			5	R/W	SM2	多处理器通信使能
			4	R/W	REN	串行接收使能 0: 禁用 1: 使能
			3	R/W	TB8	发射器位 8 当在模式 2 或模式 3 中通过串行端口传输数据时使用此位。此位的状态与第 9 传输位的状态对应, 如奇偶校验检查或多处理器通信。它由软件控制。

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			2	R/W	RB8	接收位 8 当在模式 2 或模式 3 中通过串行端口接收数据时使用此位。其反映第 9 接收位的状态。 在模式 1 中，如果多处理器通信使能 (SM2=0)，则此位为停止位。 在模式 0 中，此位未用。
			1	R/W	TI	传输中断标志 指示在串行端口完成串行传输。 模式 0 中，通过硬件设置在位 8 末尾，其他模式中设置在停止位开头。必须通过软件将其清除。
			0	R/W	RI	接收中断标志 在串行端口完成串行接收后通过硬件进行设置。模式 0 中，通过硬件设置在位 8 末尾，其他模式中设置在停止位中间。必须通过软件将其清除。
SBUF	99h	00h	串行端口，数据缓冲			
			7:0	R/W	SBUF [7:0]	串行端口，数据缓冲
IEN2	9Ah	00h	中断使能寄存器 2			
			7:6		保留	必须设置为 0
			5	R/W	EX12	外部中断 12 0: 禁用 1: 使能
			4	R/W	EX11	AMC 中断 (中断 11) 0: 禁用 1: 使能
			3	R/W	EX10	霍尔边沿中断 (中断 10) 0: 禁用 1: 使能
			2	R/W	EX9	ADC 中断 (中断 9) 0: 禁用 1: 使能
			1	R/W	EX8	故障中断 (中断 8) 0: 禁用 1: 使能
			0		保留	必须设置为 0
P2	A0h	FFh	端口 2			
			7:0	R/W	P2 [7:0]	端口 2
IEN0	A8h	00h	中断使能寄存器 0			
			7	R/W	EA	中断使能 当设置为 0 时，所有中断禁用。 否则，通过设置相应的中断使能位使能每个中断。
			6	R/W	WDT	看门狗计时器刷新标志 设置为启动/刷新看门狗计时器 (参见第 4.14 节)
			5	R/W	ET2	计时器 2 中断 0: 禁用 1: 使能
			4	R/W	ES0	串联端口中断 0: 禁用 1: 使能
			3	R/W	ET1	计时器 1 溢出中断

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						0: 禁用 1: 使能
			2	R/W	EX1	外部中断 1 0: 禁用 1: 使能
			1	R/W	ET0	计时器 0 溢出中断 0: 禁用 1: 使能
			0	R/W	EX0	外部中断 0 0: 禁用 1: 使能
IP0	A9h	00h	中断优先寄存器0			
			7		保留	必须设置为 0
			6	R/W	WDTS	看门狗计时器状态标志 发生看门狗计时器复位时, 通过软件设置
			5:0	R/W	IP0 [5:0]	中断优先 参见 IP1
SRELL	AAh	D9h	串行端口重新载入寄存器低字节 (波特率发生器)			
			7:0	R/W	SREL[7:0]	串行端口重载寄存器 [7:0]
MTX0	B0h	00h	发送到 AMC 的数据			
			7:0	R/W	MTX0	发送到 AMC 的数据
MTX1	B1h	00h	发送到 AMC 的数据			
			7:0	R/W	MTX1	发送到 AMC 的数据
MTX2	B2h	00h	发送到 AMC 的数据			
			7:0	R/W	MTX2	发送到 AMC 的数据
MTX3	B3h	00h	发送到 AMC 的数据			
			7:0	R/W	MTX3	发送到 AMC 的数据
MRX0	B4h	00h	从 AMC 接收的数据			
			7:0	R	MRX0	从 AMC 接收的数据
MRX1	B5h	00h	从 AMC 接收的数据			
			7:0	R	MRX1	从 AMC 接收的数据
MRX2	B6h	00h	从 AMC 接收的数据			
			7:0	R	MRX2	从 AMC 接收的数据
MRX3	B7h	00h	从 AMC 接收的数据			
			7:0	R	MRX3	从 AMC 接收的数据
IEN1	B8h	00h	中断使能寄存器 1			
			7	R/W	EXEN2	计时器 2 外部重新载入中断 0: 禁用 1: 使能
			6	R/W	SWDT	看门狗计时器启动/刷新标志 (参见第 4.14 节)
			5		保留	必须设置为 0
			4	R/W	EX5	CC2 中断 0: 禁用 1: 使能
			3	R/W	EX4	CC1 中断 0: 禁用

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						1: 使能
			2	R/W	EX3	CC0 中断 0: 禁用 1: 使能
			1	R/W	EX2	SPI 中断 0: 禁用 1: 使能
			0	R/W	EX7	I ² C 中断 0: 禁用 1: 使能
IP1	B9h	00h	中断优先寄存器1			
			7:6		保留	必须设置为 0
			5	R/W		计时器2中断/外部中断 12 优先级设置。 [IP1.5:IP0.5]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
			4	R/W		串行端口中断/外部中断 5 /外部中断 11 优先级设置。 [IP1.4:IP0.4]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
			3	R/W		计时器 1 中断/外部中断 4 /外部中断 10 优先级设置。 [IP1.3:IP0.3]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
			2	R/W		外部中断 1 /外部中断 3 /外部中断 9 优先级设置。 [IP1.2:IP0.2]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
			1	R/W		计时器 0 中断/外部中断 2 /外部中断 8 优先级设置。 [IP1.1:IP0.1]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
			0	R/W		外部中断 0 /外部中断 7 优先级设置。 [IP1.0:IP0.0]= 00: 等级 0, 最低 01: 等级 1 10: 等级 2 11: 等级 3, 最高
SRELH	BAh	03h	串行端口重载寄存器高字节 (波特率发生器)			
			7:2	N/A	不适用	N/A

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			1:0	R/W	SREL [9:8]	串行端口重新载入寄存器 [9:8]
IRCON2	BFh	00h	中断请求控制 2 寄存器			
			7:5	N/A	N/A	N/A
			4	R/W	IEX12	外部中断 12 标志
			3	R/W	IEX11	外部中断 11 标志
			2	R/W	IEX10	外部中断 10 标志
			1	R/W	IEX9	外部中断 9 标志
			0	R/W	IEX8	外部中断 8 标志
IRCON	C0h	00h	中断请求控制寄存器			
			7	R/W	EXF2	计时器 2 外部重新载入标志
			6	R/W	TF2	计时器 2 溢出标志
			5		保留	必须设置为 0
			4	R/W	IEX5	外部中断 5 标志
			3	R/W	IEX4	外部中断 4 标志
			2	R/W	IEX3	外部中断 3 标志
			1	R/W	IEX2	外部中断 2 标志
			0	R/W	IEX7	外部中断 7 标志
CCEN	C1h	00h	比较/捕获使能寄存器			
			7:6		保留	必须设置为 0
			5:4	R/W	COCAH2 / COCAL2	CC2 寄存器的比较/捕获模式 00: 比较/捕获禁用 01: 在引脚 CC 的上升沿捕获 10: 比较使能 11: 在到寄存器 CC2 的写操作上捕获
			3:2	R/W	COCAH1 / COCAL1	CC1 寄存器的比较/捕获模式 00: 比较/捕获禁用 01: 在引脚 CC1 的上升沿捕获 10: 比较使能 11: 在到寄存器 CC1 的写操作上捕获
			1:0	R/W	COCAH0 / COCAL0	CRC 寄存器的比较/捕获模式 00: 比较/捕获禁用 01: 在引脚 CC0 的上升沿捕获 10: 比较使能 11: 在到寄存器 CC0 的写操作上捕获
CCL1	C2h	00h	比较/捕获寄存器 1, 低字节			
			7:0	R/W	CCL1	比较/捕获寄存器 1, 低字节
CCH1	C3h	00h	比较/捕获寄存器 1, 高字节			
			7:0	R/W	CCH1	比较/捕获寄存器 1, 高字节
CCL2	C4h	00h	比较/捕获寄存器 2, 低字节			
			7:0	R/W	CCL2	比较/捕获寄存器 2, 低字节
CCH2	C5h	00h	比较/捕获寄存器 2, 高字节			
			7:0	R/W	CCH2	比较/捕获寄存器 2, 高字节
保留	C6 - C7h	00h			保留	必须设置为 0
T2CON	C8h	00h	计时器 2 控制寄存器			
			7	R/W	T2PS	预缩放选择 0: 计时器 2 通过 $f_{SYS}/12$ 计时

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						1: 定时器 2 通过 $f_{SYS}/24$ 计时
			6	R/W	I3FR	外部中断 3 的活动边选择 0: 下降沿 1: 上升沿
			5	R/W	I2FR	外部中断 2 的活动边选择 0: 下降沿 1: 上升沿
			4:3	R/W	T2R[1:0]	定时器 2 重新载入模式选择 0X: 重新载入禁用 10: 模式 0 11: 模式 1
			2		保留	必须设置为 0
			1:0	R/W	T2I[1:0]	定时器 2 输入选择 (T2I1, T2I0) 00: 定时器 2 停止 01: 输入频率 = $f_{SYS}/12$ 或 $f_{SYS}/24$ 10: 定时器 2 通过引脚 T2 的下降沿增加 11: 输入频率 ($f_{SYS}/12$ 或 $f_{SYS}/24$) 通过引脚 EXT2 门控
CRCL	CAh	00h	比较/重新载入/捕获寄存器, 低字节			
			7:0	R/W	CRCL	比较/重新载入/捕获寄存器, 低字节
CRCH	CBh	00h	比较/重新载入/捕获寄存器, 高字节			
			7:0	R/W	CRCH	比较/重新载入/捕获寄存器, 高字节
TL2	CCh	00h	定时器 2, 低字节			
			7:0	R/W	TL2	定时器 2, 低字节
TH2	CDh	00h	定时器 2, 高字节			
			7:0	R/W	TH2	定时器 2, 高字节
PSW	D0h	00h	程序状态字寄存器			
			7	R/W	CY	承载标志
			6	R/W	AC	辅助承载标志
			5	R/W	F0	通用标志 0
			4:3	R/W	RS1 RS0	[RS1,RS0] 选择寄存器库位置 00: 库 0(00h - 07h) 01: 库 1(08h - 0Fh) 10: 库 2(10h - 17h) 11: 库 3(18h - 1Fh)
			2	R/W	OV	溢出标志
			1	R/W	F1	通用标志 1
			0	R	P	奇偶标记
ADCON	D8h	00h	串行端口波特率选择寄存器			
			7	R/W	BD	串行端口波特率选择 (在模式 1 和 3 中) 为 1 时, 使用附加的内部波特率发生器。 否则波特率通过定时器 1 获得。
			6:0		保留	必须设置为 0
I2CDAT	DAh	00h	I ² C 数据寄存器			
			7:0	R/W	I2CDAT	I ² C 数据
I2CADR	DBh	00h	I ² C 地址			
			7:1	R/W	I2C 地址	从属模式下的 I ² C 地址
			0	R/W	GC	地址确认

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
I2CCON	DCh	00h	I ² C 控制寄存器			
			7	R/W	CR2	时钟速率位 2
			6	R/W	ENS1	I ² C 激活 0: 禁用 1: 使能
			5	R/W	STA	START 标志 当 STA = 1 时, I ² C 元件检查 I ² C 总线状态, 如果总线空闲, 则产生 START 条件。
			4	R/W	STO	STOP 标志 当 STO = 1 时, I ² C 接口处于主机模式, STOP 条件传输到 I ² C 总线。
			3	R/W	SI	串行中断标志 当进入 26 个可能 I ² C 状态的 25 个之一时, 通过硬件设置 SI。唯一未设置 SI 的状态是 F8h, 其指示没有可用的相关状态信息。 必须通过软件将其清除。
			2	R/W	AA	置位确认标志 定义确认电平 0: 低电平 1: 高电平
			1	R/W	CR1	时钟速率位 1
			0	R/W	CR0	时钟速率位 0
I2CSTA	DDh	F8h	I ² C 状态寄存器			
			7:3	R	I2CSTA	I ² C 状态寄存器
			2:0	N/A	N/A	N/A
ACC	E0h	00h	累加器			
			7:0	R/W	ACC	累加器
SPSTA	E1h	00h	SPI 状态寄存器			
			7	R	SPIF	串行外围数据传输标志 数据传输完成后通过硬件设置。 进行数据传输时通过硬件清除。还可通过读取带 SPIF 位设置的 SPSTA 寄存器, 然后读取 SPDAT 寄存器进行清除。
			6	R	WCOL	写冲突标志 到 SPDAT 写冲突时通过硬件设置。 数据传输完成后未发生冲突时通过硬件清除。还可通过到 SPSTA 寄存器的访问和到 SPDAT 寄存器的访问清除。
			5	R	SSERR	同步串行从机错误标志 当 SPSSN 输入在接收序列结尾之前被舍弃时, 通过硬件设置。 通过禁用 SPI 模块清除 (清除 SPCON 寄存器中的 SPEN 位)。
			4:0		保留	必须设置为 0
SPCON	E2h	34h	SPI 控制寄存器			
			7	R/W	SPR2	SPI 时钟速率 参见 SPR[1:0]
			6	R/W	SPEN	SPI 激活 0: 禁用

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
						1: 使能
			5		保留	必须设置为 0
			4	R/W	MSTR	SPI 模式 0: 从属模式 1: 主模式
			3	R/W	CPOL	时钟极性 0: 在空闲状态下 SCK 设置为 0。 1: 在空闲状态下 SCK 设置为 1。
			2	R/W	CPHA	时钟相位 0: 当 SCK 保留空闲状态时, 采样数据 1: 当 SCK 返回到空闲状态时, 采样数据
			1:0	R/W	SPR[1:0]	SPI 时钟速率 [SPR2,SPR1,SPR0]= 010: $f_{SYS}/8$ 011: $f_{SYS}/16$ 100: $f_{SYS}/32$ 101: $f_{SYS}/64$ 110: $f_{SYS}/128$ 111: 主时钟未生成。
SPDAT	E3h	00h	SPI数据寄存器			
			7:0	R/W	SPDAT	SPI 数据寄存器
SPSSN	E4h	FFh	SPI从属选择寄存器			
			7:1	N/A	N/A	N/A
			0	R/W	SSR	SPI 从属选择寄存器
MD0	E9h	00h	乘/除寄存器 0			
			7:0	R/W	MD0	乘/除寄存器 0
MD1	EAh	00h	乘/除寄存器 1			
			7:0	R/W	MD1	乘/除寄存器 1
MD2	EBh	00h	乘/除寄存器 2			
			7:0	R/W	MD2	乘/除寄存器 2
MD3	ECh	00h	乘/除寄存器 3			
			7:0	R/W	MD3	乘/除寄存器 3
MD4	EDh	00h	乘/除寄存器 4			
			7:0	R/W	MD4	乘/除寄存器 4
MD5	EEh	00h	乘/除寄存器 5			
			7:0	R/W	MD5	乘/除寄存器 5
ARCON	EFh	00h	运算控制			
			7	R	MDEF	MDU 错误标志 指示错误执行的运算（当算术运算之一重启或被新运算中断时）。
			6	R	MDOV	MDU 溢出标志 在 MDU 操作中发生溢流
			5	R/W	SLR	移位方向 0: 左 1: 右
			4:0	R/W	SC[4:0]	移位计数器 (SC[4]: MSB, SC[0]: LSB) SC[4:0] = 0, 正常化功能 SC[4:0] ≠ 0, 移位功能

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
B	F0h	00h	B 寄存器			
			7:0	R/W	B	B 寄存器
SRST	F7h	00h	软件复位寄存器			
			7:1	N/A	N/A	N/A
			0	R/W	SRSTREG	软件复位请求
P0_CFG	F8h	00h	P0 配置			
			7	R/W	P07_IO	P07 IO 类型 0: PWM Z 通道 1: GPIO
			6	R/W	P06_IO	P06 IO 类型 0: PWM W 通道 1: GPIO
			5	R/W	P05_IO	P05 IO 类型 0: PWM Y 通道 1: GPIO
			4	R/W	P04_IO	P04 IO 类型 0: PWM V 通道 1: GPIO
			3	R/W	P03_IO	P03 IO 类型 0: PWM X 通道 1: GPIO
			2	R/W	P02_IO	P02 IO 类型 0: PWM U 通道 1: GPIO
			1:0		保留	必须设置为 0
IO_CFG	F9h	00h	IO 配置			
			7:6	R/W	EI_CFG[1:0]	INT0、INT1 引脚分配 00: 保留 01: 保留 10: P24→INT0, P25→INT1 11: P26→INT0
			5:4	R/W	I12_CFG[1:0]	INT12 边沿触发类型 00: 禁用 01: 上升/下降 10: 上升 11: 下降
			3:2	R/W	P2_CFG[1:0]	P2 配置 参考表 [P2_CFG1:P2CFG0]
			1:0	R/W	P1_CFG[1:0]	P1 配置 参考表 [P1_CFG1:P1_CFG0]
INT12_CFG	FAh	00h	INT12 来源的引脚分配			
			7	R/W	ASI_OSC	INT12 分配给 OSC 检查
			6	R/W	ASI_P16	INT12 分配给 P16
			5	R/W	ASI_P15	INT12 分配给 P15
			4	R/W	ASI_P14	INT12 分配给 P14
			3	R/W	ASI_P13	INT12 分配给 P13
			2	R/W	ASI_P12	INT12 分配给 P12
			1	R/W	ASI_P11	INT12 分配给 P11

字节名称	地址	复位	位	类型	名称	说明
			0	R/W	ASI_P10	INT12 分配给 P10
INT12_STA	FBh	00h	INT12 状态, 以确定 INT12 触发源			
			7	R	ST_OSC	INT12 由 OSC 检查触发
			6	R	ST_P16	INT12 由 P16 触发
			5	R	ST_P15	INT12 由 P15 触发
			4	R	ST_P14	INT12 由 P14 触发
			3	R	ST_P13	INT12 由 P13 触发
			2	R	ST_P12	INT12 由 P12 触发
			1	R	ST_P11	INT12 由 P11 触发
			0	R	ST_P10	INT12 由 P10 触发
DRV0	FCh	00h	GPIO 0 驱动器模式选择			
			7	R/W	P07_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			6	R/W	P06_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			5	R/W	P05_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			4	R/W	P04_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			3	R/W	P03_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			2	R/W	P02_DRV	0: 带内部下拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			1:0		保留	必须设置为 0
DRV1	FDh	00h	GPIO 1 驱动器模式选择			
			7	R/W	P17_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			6	R/W	P16_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			5	R/W	P15_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			4	R/W	P14_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			3	R/W	P13_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			2	R/W	P12_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			1	R/W	P11_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			0	R/W	P10_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
DRV2	FEh	00h	GPIO 2 驱动器模式选择			
			7		保留	必须设置为 0
			6	R/W	P26_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			5	R/W	P25_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			4	R/W	P24_DRV	0: 带内部上拉电阻的开路漏极 1: 直接驱动
			3:0		保留	必须设置为 0

4.4. GPIO

FCM8531 有三个 GPIO 端口：P0[7:2]、P1[7:0] 和 P2[6:4]，可通过 SFR 的 DRV0、DRV1 和 DRV2 将其设置为直接驱动或开路漏极。P0[7:2] 通过内部电阻下拉至 GND，其他数字 IO 使用内部电阻上拉至 5 V。

表 15. GPIO 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
P0 (80h)	P07	P06	P05	P04	P03	P02	保留		FFh
P1 (90h)	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10	FFh
P2 (A0h)	保留	P26	P25	P24	保留				FFh
P0_CFG (F8h)	P07_IO	P06_IO	P05_IO	P04_IO	P03_IO	P02_IO	保留		00h
IO_CFG (F9h)	EI_CFG1	EI_CFG0	I12_CFG1	I12_CFG0	P2_CFG1	P2_CFG0	P1_CFG1	P1_CFG0	00h
DRV0 (FCh)	P07_DRV	P06_DRV	P05_DRV	P04_DRV	P03_DRV	P02_DRV	保留		00h
DRV1 (FDh)	P17_DRV	P16_DRV	P15_DRV	P14_DRV	P13_DRV	P12_DRV	P11_DRV	P10_DRV	00h
DRV2 (FEh)	保留	P26_DRV	P25_DRV	P24_DRV	保留				00h

4.4.1 GPIO 图表

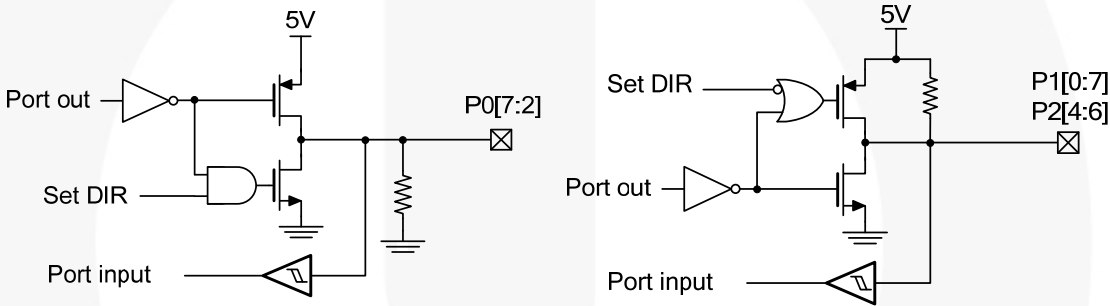


图 37. GPIO

4.4.2 说明

P0[7:2] 可通过使用 SFR 的 P0_CFG 定义为 GPIO 或 PWM 输出信号（U、V、W、X、Y 和 Z）。复位后，P0[7:2] 预设为 PWM 输出信号，其他 DIO 引脚预设为 GPIO。

多功能引脚 P1[7:0] 和 P2[6:4] 可通过 SFR 的 IO_CFG (F9h) 设置（参见表 16 和表 17）。

设置 SFR IO_CFG (F9h)[1:0] 以配置 P1[7:0] 并分配串行总线（SPI 模式、I²C 模式、UART 模式）。

表 16. P1_CFG[1:0]

CFG[1:0]	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10
00（默认）	SCK	MISO	MOSI	SPSSN / TDO	SDA	SCL	TX	RX
	SPI / OCDS				I2C		UART	
01	SCK	MISO	MOSI	SPSSN / TDO	TX	RX	SDA	SCL
	SPI / OCDS				UART		I2C	
10	SDA	SCL	TX	RX	SCK	MISO	MOSI	SPSSN / TDO
	I2C		UART		SPI / OCDS			
11	TX	RX	SDA	SCL	SCK	MISO	MOSI	SPSSN / TDO
	UART		I2C		SPI / OCDS			

默认情况下，将 P2[6:4] 设置为 GPIO 引脚。DRV2 (FEh) 寄存器选择开路漏极或者直接驱动。根据不同目的，设置 IO_CFG (F9h) 寄存器以分配计时器输入（计时器 0、计时器 1、计时器 2）引脚分配，如以下表 17 中所示。

表 17. P2_CFG[1:0]

CFG[1:0]	P26	P25	P24
00 (默认)	CC2	CC1	CC0
	捕获和比较		
01	CC2	CC1	CC0
	捕获和比较		
10	T2	T1	T0
	TMR2	TMR1	TMR0
11	T0	T2EX	T2
	TMR0	TMR2	

P1[6:0] 还可被配置为外部中断 12 的输入引脚（参见表 18）。

用户可打开 INT12 并通过设置 IO_CFG (F9h)[5:4] 选择触发器类型。

表 18. INT 12_CFG

		I12CFG[1:0] = 01, 10, 11 (使能 INT12)
INT12_CFG [7:0]	INT12_CFG [7]	OSC 检查分配给 INT12
	INT12_CFG [6]	P16 分配给 INT12
	INT12_CFG [5]	P15 分配给 INT12
	INT12_CFG [4]	P14 分配给 INT12
	INT12_CFG [3]	P13 分配给 INT12
	INT12_CFG [2]	P12 分配给 INT12
	INT12_CFG [1]	P11 分配给 INT12
	INT12_CFG [0]	P10 分配给 INT12

P2[6:4] 还可以通过 SFR IO_CFG (F9h)[7:6] 配置为外部中断 0 或外部中断 1 的输入引脚，如表 19 所示。

表 19. EI_CFG[1:0]

CFG[1:0]	P26	P25	P24
10	外部中断 0	外部中断 1	外部中断 0
11			

GPIO 引脚包括 P0[7:2]、P1[7:0] 和 P2[6:4]，且 P1 和 P2 引脚的设置如表 20 所示。

表 20. 所有 GPIO 配置和功能

引脚	P1_CFG=00 P2_CFG=00	P1_CFG=01 P2_CFG=01	P1_CFG=10 P2_CFG=10	P1_CFG=11 P2_CFG=11	I12CFG[1:0]≠00 INT12_CFG=7Fh	EI_CFG [1:0]= 10	EI_CFG [1:0]= 11
P10	RX	SCL	SPSSN	SPSSN	INT12		
P11	TX	SDA	MOSI	MOSI	INT12		
P12	SCL	RX	MISO	MISO	INT12		
P13	SDA	TX	SCK	SCK	INT12		
P14	SPSSN	SPSSN	RX	SCL	INT12		
P15	MOSI	MISO	TX	SDA	INT12		
P16	MISO	MISO	SCL	RX	INT12		
P17	SCK	SCK	SDA	TX			

引脚	P1_CFG=00 P2_CFG=00	P1_CFG=01 P2_CFG=01	P1_CFG=10 P2_CFG=10	P1_CFG=11 P2_CFG=11	I12CFG[1:0]≠00 INT12_CFG=7Fh	EI_CFG [1:0]= 10	EI_CFG [1:0]= 11
P24	CC0	CC0	T0	T2		INT0	
P25	CC1	CC1	T1	T2EX		INT1	
P26	CC2	CC2	T2	T0			INT0

4.5. 计时器 0

计时器 0 是 16 位计时器/计数器，在计时器模式或计数器模式中通过 SFR TMOD (89h) 确定。在计时器模式中，其计数器值每 12 个系统周期增加一。在计数器模式中，计数器值在 T0 引脚的每个下降沿增加一。T0 上的最大频率不能超出 $f_{sys}/2$ ，因为信号的下降沿（高到低）需要在两个时钟内确认。

表 21. 计时器寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
TCON (88h)	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	00h
TMOD (89h)	GATE1	C/T1	T1MOD		GATE0	C/T0	T0MOD		00h
TL0 (8Ah)	计时器 0，低字节								00h
TH0 (8Ch)	计时器 0，高字节								00h

4.5.1 框图

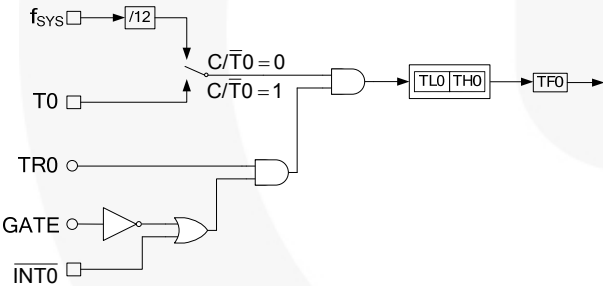


图 38. 模式 0 和模式 1 中的计时器 0

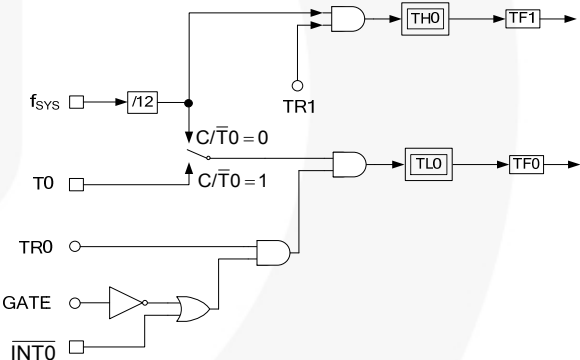


图 40. 模式 3 中的计时器 0

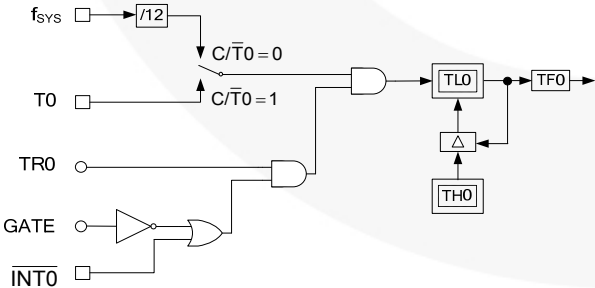


图 39. 模式 2 中的计时器 0

4.5.2 说明

在四个模式中，计时器 0 通过 SFR TMOD (89h) 和 SFR TCON (88h) 设置。

表 22. 计时器 0 模式

MODE	说明
0	13 位计时器/计数器
1	16 位计时器/计数器
2	8 位自动重新载入计时器/计数器
3	计时器 1 禁用。计时器 0 处理两个 8 位计时器/计数器

模式 0:

当 SFR TMOD (89h)[1:0] = b'00 时, 定时器 0 成为 13 位定时器或计数器。SFR TMOD (89h)[2] 确定它是定时器 (TMOD[2] = 0) 还是计数器 (TMOD[2] = 1)。

当定时器 0 是定时器时, 计数器频率等于 f_{SYS} 除以 12。

当定时器 0 是计数器时, 如果在 T0 引脚上检测到下降沿 (高到低), 则计数器进行计数。

在模式 0 中, 13 个位由两个寄存器组成: 八个位在 TH0, 五个位在 TL0。TL0 分成两个块: 三个最高有效位和其他五个位。忽略三个最高有效位, TL0 的低五位和 TH0 的八个位组成一个 13 位定时器或计数器。

一旦定时器 0/计数器 0 溢出, 则设置 TCON[5] 标志, 并触发定时器 0 中断。中断标志可通过硬件或软件清除。

模式1:

当 TMOD (89h)[1:0] = b'01 时, 定时器 0 成为 16 位计数器或定时器。TMOD (89h)[2] 确定它是定时器还是计数器。

当定时器 0 是定时器时, 计数器频率等于 f_{SYS} 除以 12。

当定时器 0 是计数器时, 如果检测到下降沿 (高到低) 位于 T0 引脚上, 则对计数器计数。

在模式 1 中, 16 位由两个 8 位寄存器 TH0 和 TL0 组成。TH0 是高字节, TL0 是低字节。

模式 2:

当 TMOD (89h)[1:0] = b'10 时, 它自动重新载入 8 位区间值。它使用低字节 TL0 作为其计数器寄存器。一旦 TL0 溢出, 则设置 TCON[5] 标志, 并触发中断。溢出时, TL0 从 TH0 加载数据, 且 TL0 重新开始其计数。

模式 3:

当 TMOD (89h)[1:0] = b'11 时, 定时器 0 成为独立的 8 位计数器或定时器。在此模式中, 因为 TF1 标志占用, 定时器 1 被禁止。一旦 TL0 溢出, 则设置 TCON[5] TF0 标志, 并触发定时器 0 中断。当 TH0 溢出时, 设置 TCON[7] TF1 标志, 并触发定时器 1 中断。TCON 中的 TR0 位控制 TL0 的启动/停止计数。GATE0 位设置当外部中断 0 发生时是否停止/继续计数。TCON 中的 TR1 位控制 TH0 的启动/停止计数。在此模式中, TH0 没有 GATE 功能。

4.6. 定时器 1

定时器 1 是 16 位定时器/计数器, 在定时器模式或计数器模式中通过 SFR TMOD (89h) 确定。在定时器模式中, 其计数器值每 12 个系统周期增加一。在计数器模

式中, 计数器值在 T1 引脚的每个下降沿中增加一。T1 上的最大频率不能超出 $f_{\text{SYS}}/2$, 因为信号的下降沿 (高到低) 需要在两个时钟内确认。

表 23. 定时器 1 寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
TCON (88h)	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	00h
TMOD (89h)	GATE1	C/T1	T1MOD		GATE0	C/T0	T0MOD		00h
TL1 (8Bh)	定时器 1，低字节								00h
TH1 (8Dh)	定时器 1，高字节								00h

4.6.1 框图

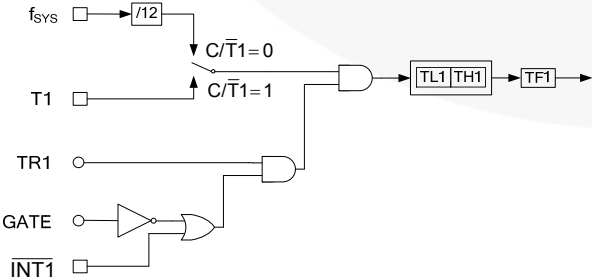


图 41. 模式 0 和模式 1 中的定时器 1

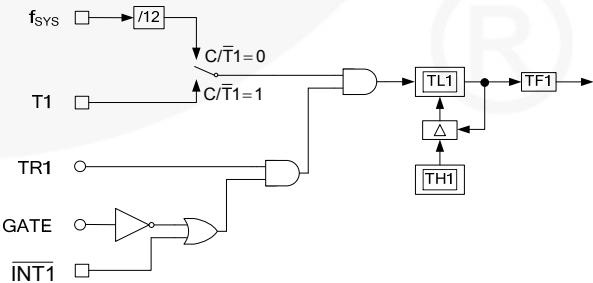


图 42. 模式 2 中的定时器 1

4.6.2 说明

在三个模式中，定时器 1 通过 SFR TMOD (89h) 和 SFR TCON (88h) 设置。

表 24. 定时器 1 模式

MODE	说明
0	13 位定时器/计数器
1	16 位定时器/计数器
2	8 位自动重新载入定时器/计数器
3	定时器 1 停止

模式 0:

当 SFR TMOD (89h)[5:4] = b'00 时，定时器 1 成为 13 位定时器或计数器。TMOD (89h)[6] 决定它是定时器 (TMOD[6] = 0) 还是计数器 (TMOD[6] = 1)。

当定时器 1 是定时器时，计数器频率等于 f_{SYS} 除以 12。

当定时器 1 是计数器时，如果检测到下降沿（高到低）位于 T1 引脚上，则计数器进行计数。

在模式 0 中，13 位由两个寄存器组成：八个位在 TH1，五个位在 TL1。TL1 分为两个块：三个最高有效位和五个其他位。三个最高有效位忽略，TL1 的低五位和 TH1 的八位组成一个 13 位定时器或计数器。

一旦定时器 1 / 计数器 1 溢出，则设置 TCON[7] 标志，并触发定时器 1 中断。中断标志可通过硬件或软件清除。

模式 1:

当 TMOD (89h)[5:4] = b'01 时，定时器 1 成为 16 位定时器或计数器。TMOD (89h)[6] 确定它是定时器还是计数器。

当定时器 1 是定时器时，计数器频率等于 f_{SYS} 除以 12。

当定时器 1 是计数器时，如果检测到下降沿（高到低）位于 T1 引脚上，则计数器进行计数。

在模式 1 中，16 位由两个 8 位寄存器 TH1 和 TL1 组成。TH1 是高字节，TL1 是低字节。

模式 2:

当 TMOD (89h)[5:4] = b'10 时，定时器 1 成为 8 位自动重新载入定时器或计数器。它自动重新载入 8 位定时器或计数器区间值。它使用低字节的 TL1 作为其计数器寄存器。一旦 TL1 溢出，则设置 TCON[7] 标志，并触发中断。溢出时，TL1 从 TH1 和 TL0 加载数据，然后重新开始计数。

模式 3:

在定时器 1 模式 3 中，定时器 1 停止。

4.7. 定时器 2

定时器 2 是 16 位定时器/计数器，可配置为三种模式：定时器模式、事件计数器模式和门控定时器模式。此外，在重新载入功能中两个重新载入模式是可选的：自动重新载入或外部重新载入。

表 25. 定时器 2 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IEN1 (B8h)	EXEN2	SWDT	保留	EX5	EX4	EX3	EX2	EX7	00h
IRCON (C0h)	EXF2	TF2	保留	IEX5	IEX4	IEX3	IEX2	IEX7	00h
CCEN (C1h)	保留		COCA H2	COCA L2	COCA H1	COCA L1	COCA H0	COCA L0	00h
CCL1 (C2h)	比较/捕获寄存器 1, 低字节								00h
CCH1 (C3h)	比较/捕获寄存器 1, 高字节								00h
CCL2 (C4h)	比较/捕获寄存器 2, 低字节								00h
CCH2 (C5h)	比较/捕获寄存器 2, 高字节								00h
T2CON (C8h)	T2PS	I3FR	I2FR	T2R1	T2R0	保留	T2I1	T2I0	00h
CRCL (CAh)	比较/捕获寄存器, 低字节								00h
CRCH (CBh)	比较/捕获寄存器, 高字节								00h
TL2 (CCh)	定时器 2, 低字节								00h
TH2 (CDh)	定时器 2, 高字节								00h

4.7.1 框图

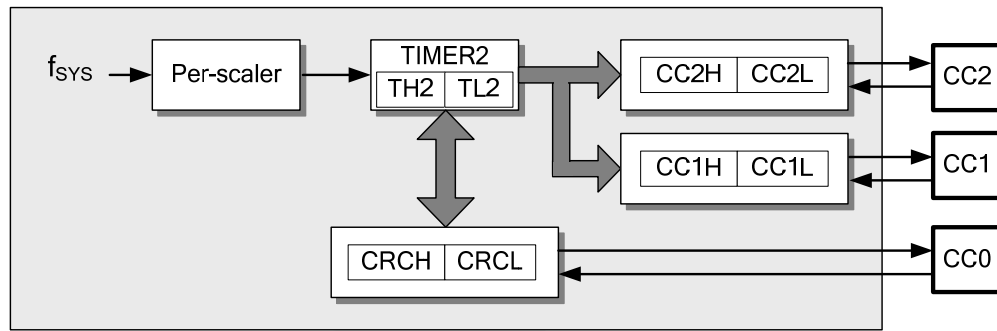


图 43. 计时器 2 框图

4.7.2 说明

计时器 2 可在计时器模式、事件计数器模式和栅极计时器模式中配置，如图 44 所示。

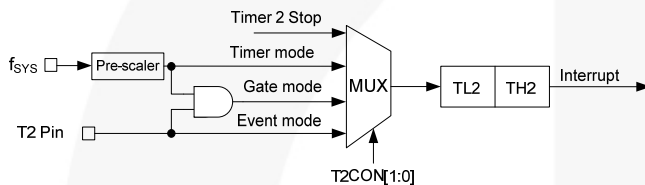


图 44. 计时器 2 时钟源

计时器模式：

通过设置 SFR T2CON[1:0] = b'01 触发此模式。在此模式中，计数率源自 f_{SYS} ，然后通过前量程。前除器可在 $f_{SYS}/12$ 和 $f_{SYS}/24$ 间选择；计时器 2 每 12 或 24 个时钟周期递增，具体取决于前除器选择。当 T2CON (C8h)[7] = 0 (T2PS) 时，计时器 2 每 12 个时钟周期递增；否则每 24 个周期递增。

事件计数器模式：

通过设置 T2CON[1:0] = b'10 触发此模式。在此模式中，计数率源自引脚 T2。当引脚 T2 上的信号将其状态从 1 更改到 0（高到低）时递增。T2 引脚上的最大频率不能超出 $f_{SYS}/2$ 。

栅极计时器模式：

通过设置 T2CON[1:0] = b'11 触发此模式。在此模式中，计时器 2 每 12 或 24 个时钟周期递增，具体取决于 T2PS，但另外通过引脚 T2 进行门控。当 T2 = 0 时，计时器 2 停止；否则，计时器 2 启动递增。

计时器 2 重新载入模式可按自动重新载入模式或外部重新载入模式执行，如图 45 所示。

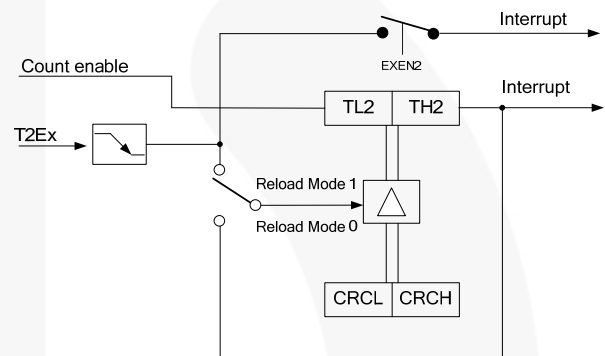


图 45. 计时器 2 重新载入模式

自动重新载入：

当计时器 2 的 TH2 和 TL2 溢出时，来自 CRCH 和 CRCL 的值自动重新载入到 TH2 和 TL2 寄存器中。

外部重新载入：

当在 T2 引脚发生负信号变换（高到低）时，发生重新载入。来自 CRCH 和 CRCL 的值重新载入到 TH2 和 TL2 寄存器中。SFR IEN1 (B8h)[7], EXEN2 位必须置位。计时器 2 外部重新载入标志 (IRCON (C0h)[7]) EXF2 通过软件清除。

计时器 2 有三个比较功能：CRC、CC1 和 CC2。通过设置 CCEN (C1h)[1:0] = b'10 并使能中断 EX3 来使能 CRC。通过设置 CCEN[3:2] = b'10 并使能中断 EX4 来使能 CC1。通过设置 CCEN[5:4] = b'10 并使能中断 EX5 来使能 CC2。一旦计时器 2 的值（由 TH2 和 TL2 组成）等于比较寄存器 CRC、CC1 或 CC2 的值；触发相应的中断 EX3、EX4 或 EX5，且相应的引脚 CC0、CC1 或 CC2 (P24 / P25 / P26) 输出高电平。计时器 2 溢出时，引脚驱动回到低电平。

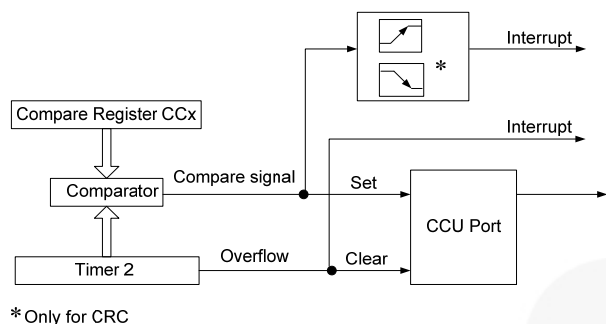


图 46. 计时器 2 比较模式

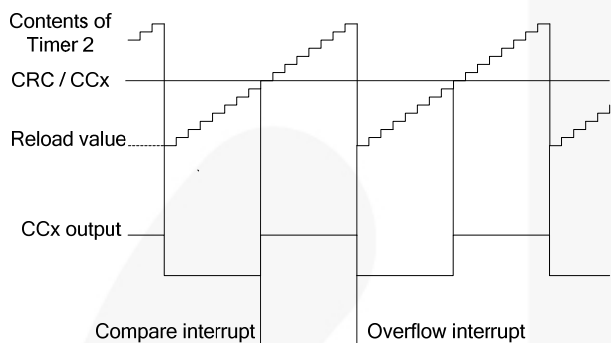


图 47. 比较模式操作

计时器 2 通过 SFR CCEN (C1h) 使能三个捕获功能，这非常类似于比较功能，只有 CCEN 寄存器设置不同。有两种捕获模式：

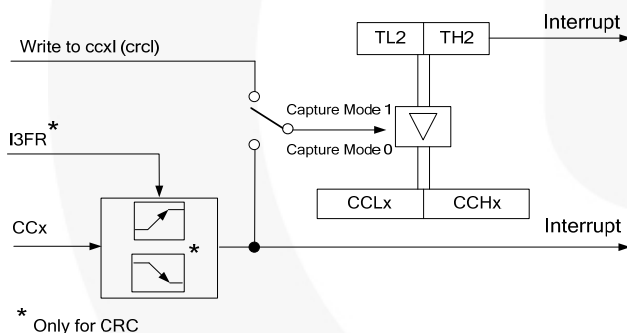


图 48. 计时器 2 捕获模式

捕获模式 0:

SFR CCEN[5:4] = b'01、CCEN[3:2] = b'01 或 CCEN[1:0] = b'01 相应设置为 CC2、CC1 或 CC0。在模式 0 中，一旦检测到输入引脚 CC2、CC1 或 CC0 上的上升沿，即执行捕获功能，且计时器 2 的计数器开始计数，直到下一个上升沿出现为止。TH2 和 TL2 中的值随后锁存到相应的捕获寄存器中。这些寄存器是 CCHx、CCLx、CRCL 和 CRCH。此功能对于计算脉冲宽度非常有用。在此模式中，未产生任何中断请求。

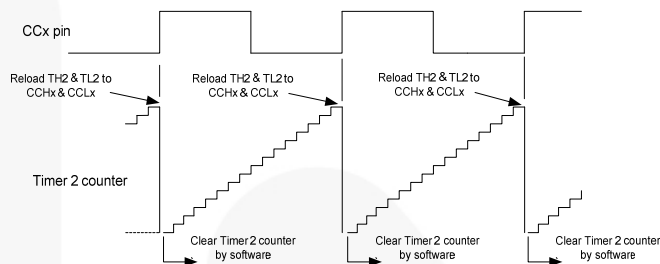


图 49. 捕获模式 0 操作

捕获模式 1:

通过设置适合的寄存器 CCEN[5:4] = b'11、CCEN[3:2] = b'11 或 CCEN[1:0] = b'11 触发此模式。通过到专用捕获寄存器低位字节的任何写入操作执行捕获操作。到捕获寄存器的写入值与此功能无关。一旦发生写入操作，TH2 和 TL2 中的值即锁存到适当的捕获寄存器中。在此模式中，未产生任何中断请求。

4.8. Interrupt

在 FCM8531 中提供 16 个中断源，且分为六组。可将四个优先级之一分配给每个组。SFR IP0 (A9h) 和 SFR IP1 (B9h) 用于优化中断等级。每个中断源可通过 SFR IEN0 (A8h)、IEN1 (B8h) 或 IEN2 (9Ah) 中的相应使能标志单独使能或禁用。此外，所有中断可通过 SFR IEN0 中的 EA 位全局使能或禁用。每个中断有其自己的中断请求

标志，可在 SFR IRCON (C0h) 或 SFR IRCON2 (BFh) 处读取。

中断源中的一些通过检测 FCM8531 自身或电机状态触发。例如：ADC 就绪、霍尔信号更改、霍尔信号超时、霍尔信号错误和短路检测。

表 26. 中断向量

中断源	中断向量	符号	触发	中断号 * (Keil C)
外部中断 0 (INT0)	0003h	EX0	下降/低	0
计时器 0 溢出	000Bh	ET0		1
外部中断 1 (INT1)	0013h	EX1	下降/低	2
计时器1溢出	001Bh	ET1		3
串行	0023h	ES0		4
计时器 2	002Bh	ET2		5
I ² C	0043h	EX7		8
SPI (INT2)	004Bh	EX2		9
COM0 (INT3)	0053h	EX3	上升/下降	10
COM1	005Bh	EX4	上升	11
COM2	0063h	EX5	上升	12
FAULT	008Bh	EX8	上升	17
ADC 就绪	0093h	EX9		18
霍尔边沿	009Bh	EX10	上升/下降/上升和下降	19
AMC	00A3h	EX11	上升	20
外部中断 12 (INT12)	00ABh	EX12	上升/下降/上升和下降	21

表 27. 中断寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN2 (9Ah)	保留		EX12	EX11	EX10	EX9	EX8	保留	00h
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IEN1 (B8h)	EXEN2	SWDT	保留	EX5	EX4	EX3	EX2	EX7	00h
IP0 (A9h)	保留	WDT5	IP0.5	IP0.4	IP0.3	IP0.2	IP0.1	IP0.0	00h
IP1 (B9h)	保留		IP1.5	IP1.4	IP1.3	IP1.2	IP1.1	IP1.0	00h
IRCON2 (BFh)	保留			IEX12	IEX11	IEX10	IEX9	IEX8	00h
IRCON (C0h)	EXF2	TF2	保留	IEX5	IEX4	IEX3	IEX2	IEX7	00h

表 28. IO 配置

IO_CFG	位	类型	名称	IO 配置
地址 F9h 重置后 00h	7:6	R/W	EI_CFG1 EI_CFG0	INT0、INT1 引脚分配 00: 保留 01: 保留 10: P24→INT0, P25→INT1 11: P26→INT0
	5:4	R/W	I12_CFG1 I12_CFG0	INT12 边沿触发类型 00: 禁用 01: 上升/下降 10: 上升 11: 下降
	3:2	R/W	P2_CFG1 P2_CFG0	P2 (TMR 分配) 参考表 [P2_CFG1:P2CFG0]
	1:0	R/W	P1_CFG1 P1_CFG0	P1 (串行总线分配) 参考表 [P1_CFG1:P1_CFG0]

4.8.1 说明

SFR IEN0 (A8h)、IEN1 (B8h) 和 IEN2 (9Ah) 用于使能或禁用 16 个中断。每个中断有自己的中断请求标志，且这些中断请求标志可在 SFR IRCON (C0h) 和 SFR IRCON2 (BFh) 处读取。中断优先级通过 SFR IP0 和 IP1 优化。此外，用户可以通过 SFR IO_CFG (F9h) 分配中断源的信号输入。除了表 28 所示的 IO_CFG 外，相关的 P2_CFG 和 P1_CFG 如表 16 和表 17 所示。

P24 或 P26 可通过设置 SFR IO_CFG (F9h) 分配为外部中断 0 的源触发输入。P25 引脚只能分配为外部中断 1 的源触发输入。这两个中断通过低电平有效或关于 SFR TCON (88h) 位 2 和位 0 设置的下降事务触发。

当计时器 0 或计时器 1 处于计时器模式或计数器模式时，一旦发生溢出即设置 TF0 或 TF1 中断标志。这些标志可通过软件清除。

对于计时器 2，一旦发生溢出或触发外部重新载入时，可设置 TF2 或 EXF2。在中断服务例程中，用户必须确定设置标志，且必须在中断服务例程中完成标志清除。

FCM8531 有三个 COMx 中断。COMx 由比较模式中断和捕获模式中断组成。通过 CCEN (C1h) 寄存器使能比较模式或捕获模式。两种模式都使用相同的中断源和相同的外部触发引脚。

串行端口中断产生两个标志：RI 和 TI。用户必须在中断服务例程中确定 RI 或 TI。这两个标志必须在中断服务例程中清除。

一旦在 SPI 模式中接收/传输数据，即产生外部中断 EX2。来自从器件的数据可在 SFR SPDAT (E3h) 中正确读取。

在 I²C 模式中，完成以下项后产生外部中断 EX7：启动、地址和数据传输。此标志必须在中断服务例程中清除，以避免每次 I²C 状态更改时错误地触发外部中断 EX7。

通过 SAW 或通过计时器 0 溢出触发 ADC 就绪中断。在 SFR ADCCFG (1Fh) 处进行设置。在采样和转换后，中断触发，这些 ADC 寄存器中的数据可供读取。最高 ADC 采样频率大约为 30 kHz。如果根据 SAW 设置 ADC 就绪中断，则 ADC 触发与 SAW 同步。

通过选择 SFR HALINT (1Bh)[1:0] 处的霍尔边沿类型触发霍尔中断。AMC 检测 GPIO 以获取霍尔信号。此时，霍尔信号事务根据所选的霍尔边沿类型触发中断。

通过以下条件的任一个触发故障中断：检测 Ia、Ib 或 Ic 引脚上是否有霍尔缓慢、霍尔错误以及任何短路。读取中断服务例程中的 SFR MSTAT (3Fh)，确定故障原因。霍尔缓慢的情况是：霍尔信号状态没有因为超出设置时间而改变，这会导致霍尔周期计数器的溢出。短路保护机制通过 IA、IB 和 IC 引脚上的电压超出短路电压感测电机的三相电流。霍尔错误检测霍尔信号的异常组合。

通过 AMC 中断通知 MCU：AMC 完成了其数据传输。

要分配中断 12 输入信号，需设置 SFR IO_CFG (F9h)[5:4]，以选择 INT12 触发类型。接着设置 SFR INT12_CFG (FAh)，以选择作为中断源引脚的 P1[6:0] 引脚。检查 INT12_STA (F8h)，以确定触发源引脚。

中断优化：

一旦发生中断，中断服务按中断向量跳到指定地址，并执行中断服务例程。当前运行的中断服务例程只能由带较高优先级别的中断中断。任何带有相同或较低优先级别的中断都不能中断当前运行的中断服务例程。

四个中断优先级别从级别 3（最高优先级别）运行到级别 0（最低优先级别）。这些级别在 SFR IP0 (A9h) 和 SFR IP1 (B9h) 中设置，且优先级别的设置显示在表 29 中。

表 29. 中断优先级别

Level	优先级	IP1.x	IP0.x
等级 0	最低	0	0
等级 1		0	1
等级 2		1	0
等级 3	最高	1	1

16 个中断分成六组且六个组的定义显示在表 30 中。

表 30. 中断优先级组

中断组	最高优先级	中等优先级	最低优先级	设置寄存器标志	相同优先级别内的优先级
组 0	外部中断 0		I2C	IP1[0], IP0[0]	最高
组 1	定时器 0 溢出	故障	SPI	IP1[1], IP0[1]	
组 2	外部中断 1	ADC 就绪	COM0	IP1[2], IP0[2]	
组 3	定时器 1 溢出	霍尔边沿	COM1	IP1[3], IP0[3]	
组 4	串行	AMC	COM2	IP1[4], IP0[4]	
组 5	定时器 2	外部中断 12		IP1[5], IP0[5]	最低

在表 30 内，来自第二列的中断源在组（行）中具有最高优先级；来自第三列的源具有中等优先级；来自第四列的源具有最低优先级。在同一组内，优先级结构通过硬件固定，且无法更改中断优先级。

在组之间存在另一优先级别结构。组 0 具有最高优先级别，组 5 具有最低优先级别。中断组的优先级别可通过更改第五列中的 SFR IP0 和 IP1 设置为 0 到 3。

当请求一个以上中断时，要考虑所有优先级类型：最重要的是通过 IP0 和 IP1 SFR 设置的优先级别，然后是组之间的自然优先级（对于组之间的相同优先级别），最后是每个组内的优先级。

4.9. INT12

外部中断 12 的输入信号可由 SFR INT12_CFG (FAh) 寄存器分配给 P1[6:0] 引脚。INT12_STA (FBh) 寄存器可识别触发中断的引脚。此外，IO_CFG (F9h) 寄存器还确定中断边沿类型。

表 31. INT12 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN2 (9Ah)	保留		EX12	EX11	EX10	EX9	EX8	保留	00h
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IRCON2 (BFh)	保留			IEX12	IEX11	IEX10	IEX9	IEX8	00h
IO_CFG (F9h)	EI_CFG1	EI_CFG0	I12_CFG1	I12_CFG0	P2_CFG1	P2_CFG0	P1_CFG1	P1_CFG0	00h
INT12_CFG (FAh)	ASI_OSC	ASI_P16	ASI_P15	ASI_P14	ASI_P13	ASI_P12	ASI_P11	ASI_P10	00h
INT12_STA (FBh)	ST_OSC	ST_P16	ST_P15	ST_P14	ST_P13	ST_P12	ST_P11	ST_P10	00h

4.9.1 框图

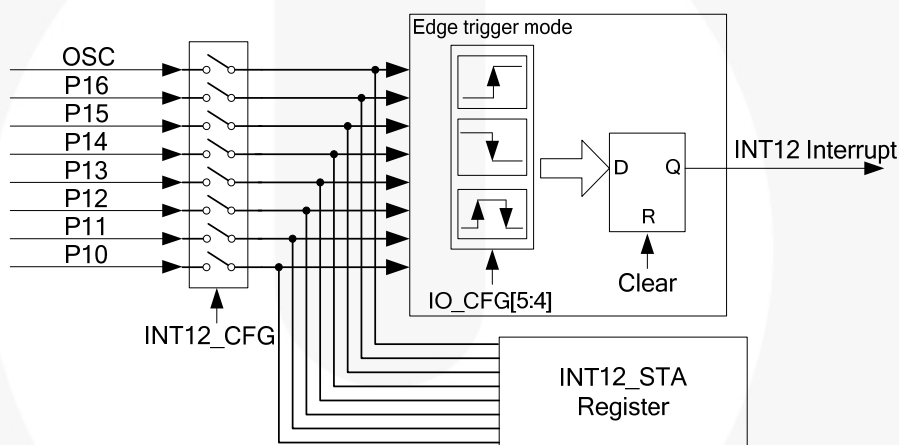


图 50. INT12 框图

4.9.2 说明

作为特殊中断，P1[6:0] 的所有引脚可以是外部中断 12 的输入信号源。通过设置 SFR INT12_CFG (FAh) 进行确定。在此情况下，由 SFR INT12_CFG 定义的引脚可触发 INT12，并通过读取 SFR INT12_STA (FBh) 和检查触发源完成标识。

外部中断 12 提供三个触发器类型，通过 SFR IO_CFG (F9h)[5:4] 设置。三个类型是：上升触发器、下降触发器和上升/下降触发器。

4.10. UART

通用异步接收器/发射器 (UART) 是灵活的全双向同步/异步接收器/发射器。它与 MCS[®]51 串行端口完全兼容。

表 32. UART 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
PCON (87h)	SMOD	WDT_TM	ISR_TM	保留			停止	IDLE	08h
SCON (98h)	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI	00h
SBUF (99h)	串行端口，数据缓冲								00h
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
SRELL (AAh)	重载寄存器低字节（波特率发生器）								D9h
SRELH (BAh)	保留						重新载入寄存器高字节 （波特率发生器）		03h
ADCON (D8h)	BD	保留							00h

4.10.1 框图

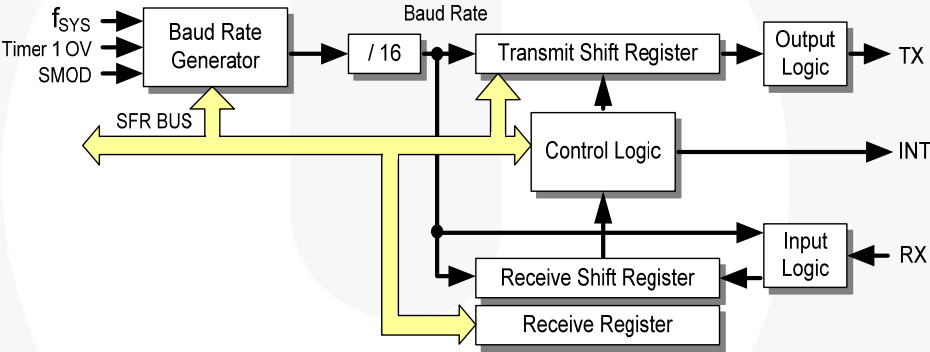


图 51. 串行端口框图

4.10.2 说明

UART 包括一个同步模式和三个异步模式，通过 SFR SCON (98h) 中的位 SM0 和 SM1 设置。有关传输格式的更多信息，请参考表 33。

有两个生成波特率的选项：通过计时器 1 和通过内部波特率发生器。内部波特率发生器通过 SFR SRELH (BAh) 和 SFR SRELL (AAh) 设置。

表 33. 串行端口模式对比波特率

SM0	SM1	MODE	说明	波特率
0	0	模式 0	移位寄存器	f _{sys} /12
0	1	模式 1	8 位UART	变量 (计时器 1 或内部波特率发生器)
1	0	模式 2	9 位UART	f _{sys} /64 (SMOD=0), f _{sys} /32 (SMOD=1)
1	1	模式 3	9 位UART	变量 (计时器 1 或内部波特率发生器)

波特率计算（模式 1 和模式 3）的等式：

从计时器 1：

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times f_{\text{SYS}}}{32 \times (\text{Timer 1 reload frequency})} \quad (5)$$

从内部波特率发生器：

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times f_{\text{SYS}}}{64 \times (2^{10} - \text{SREL})} \quad (6)$$

模式 0：

模式 0 用于同步 8 位串行接收/传输。TxD 输出移位时钟，RxD 用于数据输入/输出。波特率固定在 $f_{\text{SYS}}/12$ 。在接收前，应设置 REN，且应在 SFR SCON (98h) 寄存器中清除 RI。接收后，RI 设置并触发串行中断。

通过写入 SBUF (99h) 寄存器发送数据。在发送数据后，SFR SCON (98h) 寄存器的 TI 设置并触发中断。

模式 1：

模式 1 用于异步 8 位串行接收/传输。应在软件中设置波特率。SFR ADCON (D8h) 的 BD 位选择波特率类型。设置时，使用附加的内部波特率发生器；否则，使用计时器 1 溢出。内部波特率发生器的频率通过 SFR SRELL (AAh) 和 SFR SRELH (BAh) 设置。此外，通过设置 SFR PCON (87h) 的 SMOD 位可使波特率加倍。

通过写入 SFR SBUF (99h) 启动传输，且数据通过 TxD 引脚输出。传输的数据始于起始位（始终为 0），然后是数据的八个位，最后结束于停止位（始终为 1）。

数据从 RxD 引脚输入。起始数据接收通过在 RxD 引脚检测到的下降沿触发，且数据传输与第一个下降沿同步。输入数据在 SFR SBUF (99h) 中的接收完成后可用，且停止位的值可用作 SFR SCON (98h) 中的 RB8 位。接收期间，在接收完成之前 SBUF 和 RB8 未更改。

模式 2：

在模式 2 中，串行端口作为 9 位 UART 运行，带固定波特率 $f_{\text{SYS}}/32$ 或 $f_{\text{SYS}}/64$ ，由 SFR PCON 的位 SMOD 确定。

通过写入 SFR SBUF (99h) 启动传输，且数据通过 TxD 引脚输出。传输的数据始于起始位（始终为 0），然后是数据的九个位，其中第 9 个位取自 SFR SCON (98h) 的位 TD8，之后结束于停止位（始终为 1）。

数据从 RxD 引脚输入。起始数据接收通过在 RxD 引脚检测到的下降沿触发，且数据传输与下降沿同步。在 SFR SBUF (99h) 中的接收完成后输入数据可用，且第 9 个位的值用作 SFR SCON (98h) 中的 RB8 标志。接收期间，在接收完成之前 SBUF 和 RB8 未更改。

模式 3：

模式 2 和模式 3 之间仅有一处不同：在模式 3 中，波特率通过内部波特率发生器或计时器 1 溢出提供。

在模式 3 中，串行端口作为带可编程波特率的 9 位 UART 运行。

模式 3 中的波特率设置与模式 1 相同。位 BD (ADCON[7])、SFR SRELH (BAh) 和 SFR SRELL (AAh) 确定波特率源（计时器 0 溢出/内部波特率发生器）和频率（仅内部波特率发生器）。通过设置 SFR PCON (87h) 的 SMOD 位可使波特率加倍。

通过写入 SFR SBUF (99h) 启动传输，且数据通过 TxD 引脚输出。传输的数据始于起始位（始终为 0），然后是数据的九个位，其中第 9 个位取自 SFR SCON (98h) 的位 TD8，之后结束于停止位（始终为 1）。

数据从 RxD 引脚输入。起始数据接收通过在 RxD 引脚检测到的下降沿触发，且数据传输与第一个下降沿同步。输入数据在 SFR SBUF (99h) 中的接收完成后可用，且第 9 个位的值可用作 SFR SCON (98h) 中的 RB8 位。接收期间，在接收完成之前 SBUF 和 RB8 未更改。

4.11. SPI

FCM8531 提供串行外围接口 (SPI) 模块，将全双工和同步通信协议用于通信，且能够在主机模式中作为主机工作，或在从机模式中作为从机工作。

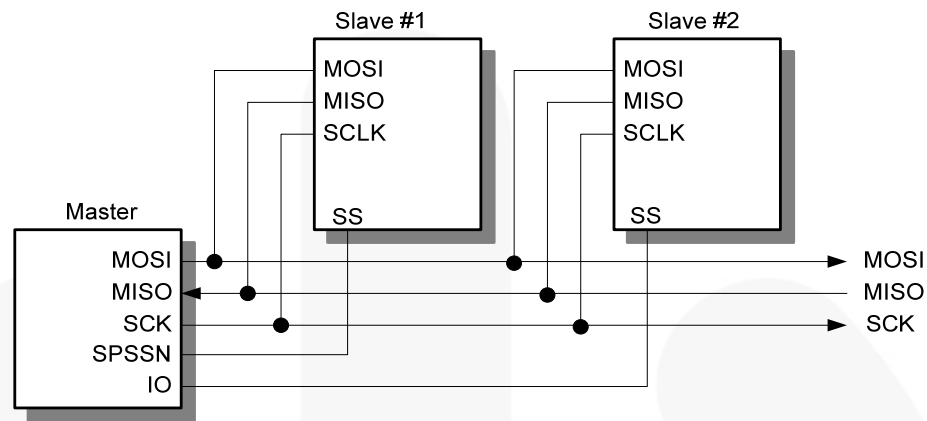


图 52. SPI 接口

表 34. SPI 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IEN1 (B8h)	EXEN2	SWDT	保留	EX5	EX4	EX3	EX2	EX7	00h
IRCON (C0h)	EXF2	TF2	保留	IEX5	IEX4	IEX3	IEX2	IEX7	00h
SPSTA (E1h)	SPIF	WCOL	SSERR	保留					00h
SPCON (E2h)	SPR2	SPEN	保留	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	34h
SPDAT (E3h)	SPI 数据寄存器								00h
SPSSN (E4h)	保留							SSR	FFh

4.11.1 框图

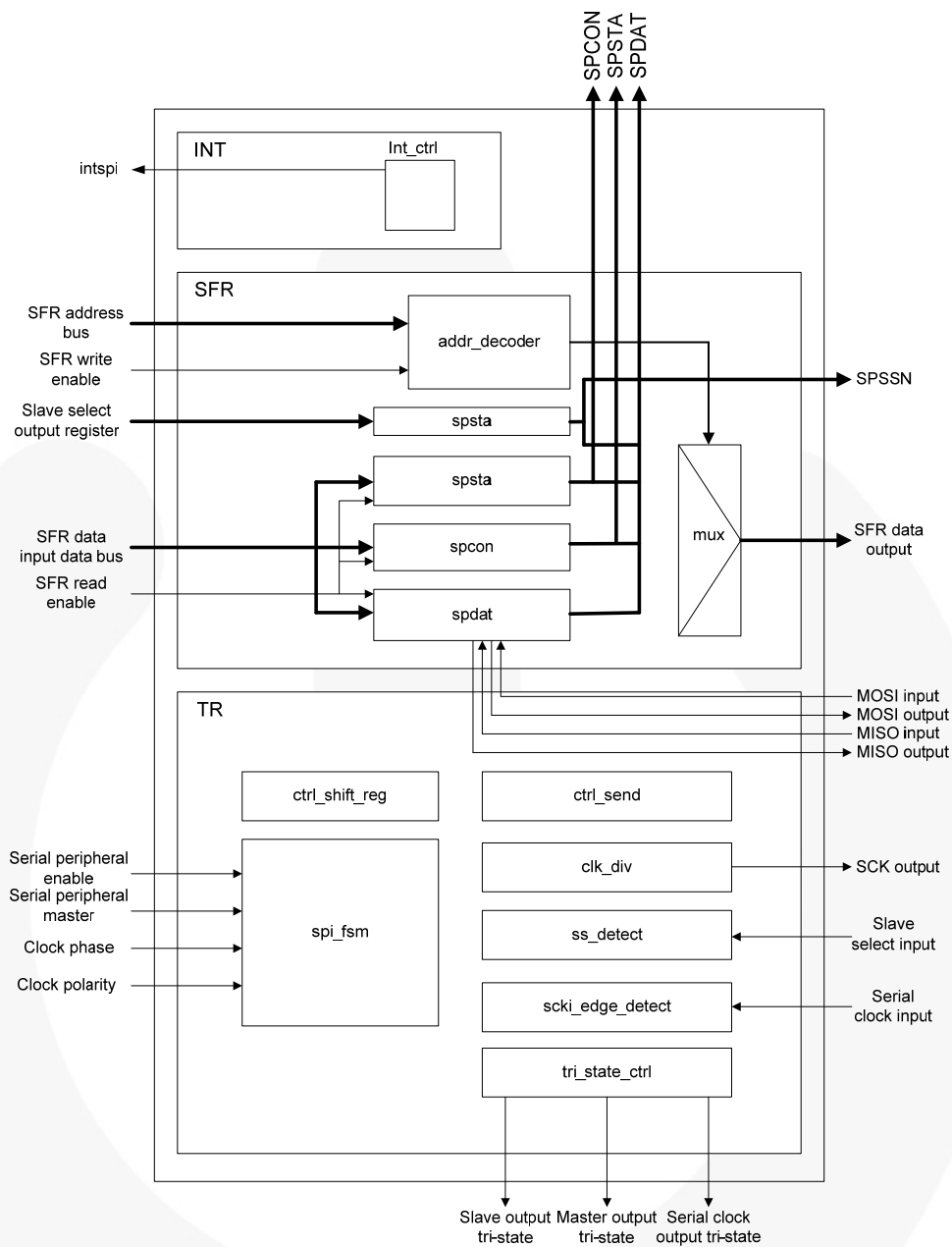


图 53. SPI 框图

4.11.2 说明

SPI 操作模式通过设置 SFR SPCON (E2h) 的位 MSTR 确定：当为 1 时，主机模式使能；否则，从机模式使能。

在主机模式中，用户可通过设置位 SPR2、SPR1 和 SPR0 确定 SPI 时钟输出率。时钟极性 (CPOL) 和时钟相位 (CPHA) 位用于定义主机模式的传输格式。SPEN 位可使能或禁用 SPI 模块。

在主机模式中，SFR SPSSN (E4h) 的位 SSR 直接映射到 SPSSN 引脚，以通知从机：SPI 传输/接收启动。如果有一个以上从机，则用户应使用数字 IO 引脚通知并使能用户想要与之通信的从器件。

主机模式中 SPI 的传输通过写入数据到 SFR SPDAT (E3h) 启动。数据根据 SCK 上串行时钟引脚移出 MOSI 引脚。同时，一个字节通过 MISO 引脚移入。传输完成后，则设置标志 SPIF（外围数据传输标志），并触发中断 EX2；此后，可从 SFR SPDAT (E3h) 读取接收的数据。

SPIF 标志必须通过在软件中读取 SFR SPSTA (E1h) 清除。

在从机模式中，SPSSN 和 SCK 设置为输入引脚并从主器件接收数据。

一旦 SPSSN 引脚为低电平，即启动从机模式中的 SPI 接收。转移到 MOSI 引脚的数据与 SCK 引脚上的串行时钟同步。传输完成后，则设置 SPIF 标志并触发中断 EX2；此后，可从 SFR SPDAT (E3h) 读取接收的数据。

通过检测到 SPSSN 信号低电平，启动从机模式中 SPI 的传输。数据根据 SCK 引脚上的串行时钟移出 MISO 引脚。

可以在 SFR SPSTA (E1h) 读取 SPI 发送/接收状态。默认情况下，SPSSN 引脚分配给 P14；MOSI 引脚分配给 P15；MISO 引脚给 P16；SCK 引脚给 P17。

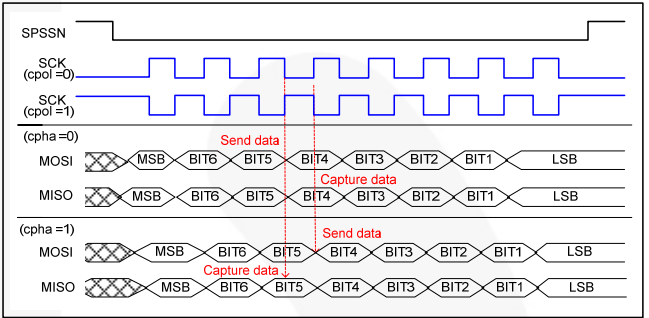


图 54. SPI 发射器帧格式

4.12. I²C

使用 I²C，MCU 能够通过两个线路与两个或更多器件通信：SCL 和 SDA。SCL 的最大速度为 400 kbps。默认情况下，SCL 分配给 P12；SDA 分配给 P13。

I²C 可在主机模式或从机模式下工作。在主机模式中，START、Re-START 和 STOP 信号根据 SFR I2CCON (DCh) 设置通过硬件自动生成，以与从器件通信。在从机模式中，START、Re-START 和 STOP 也通过硬件检测。

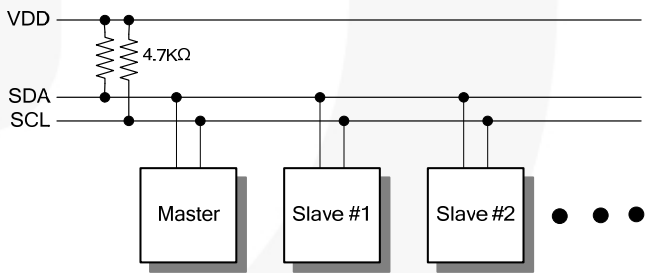


图 55. I²C 接口

表 35. I²C 寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IEN1 (B8h)	EXEN2	SWDT	保留	EX5	EX4	EX3	EX2	EX7	00h
IRCON (C0h)	EXF2	TF2	保留	IEX5	IEX4	IEX3	IEX2	IEX7	00h
I2CDAT (DAh)	I ² C 数据寄存器								00h
I2CSTA (DDh)	I ² C 状态寄存器								00h
I2CCON (DCh)	CR2	ENS1	STA	STO	SI	AA	CR1	CR0	00h
I2CADR (DBh)	I ² C 地址							GC	00h

4.12.1 框图

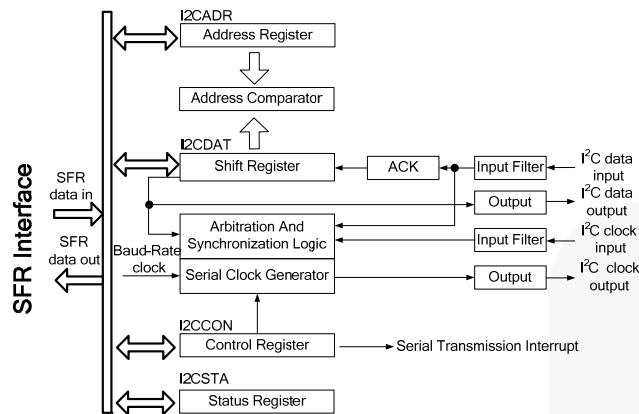


图 56. I²C 框图

4.12.2 说明

I²C 总线使用两个信号线 SCL 和 SDA 进行数据传输，且其协议由器件地址和数据组成。SCL 用于时钟输出，SDA 用于数据传输和接收。数据读取并存储在 SFR I2CDAT (DAh) 中。SFR I2CADDR (DBh) 的值用于选择从器件。SFR I2CSTA (DDh) 指示 I²C 传输状态信息。I2CCON (DCh) 用于选择 I²C 的工作模式。有四种模式：

- 在主发射器模式中，SCL 引脚输出串行时钟，SDA 引脚传输串行数据。
- 在主接收器模式中，SCL 引脚输出串行时钟，SDA 引脚接收串行数据，然后将其转移到 SFR I2CDAT (DAh) 中。
- 在从发射器模式中，SCL 引脚接收串行时钟，SDA 引脚传输串行数据。

- 在从接收器模式中，SCL 引脚接收串行时钟，SDA 引脚接收串行数据，然后将其转移到 SFR I2CDAT 中。

在主机模式中，设置 SFR I2CCON (DCh) 的 STA 位，以启动 I²C 传输。时钟分频器通过 SFR I2CCON (DCh) 的位 CR2、CR1 和 CR0 设置。当 CR2=1、CR1=1 和 CR0=1 时，波特率时钟随着计时器 1 溢出产生；所以 I²C 波特率由计时器 1 控制。在从属模式中，时钟由主机提供。

I²C 的 SDA 引脚上的数据流包括启动信号 (START)、器件地址 (ADDRESS)、读/写信号 (R/W)、两个确认信号 (ACK)、数据 (DATA) 和停止信号 (STOP)。SCL 引脚发起同步时钟（参考图 57）。

同步时钟由主器件提供。

START/STOP 通知从器件由主器件发送的启动/结束传输。

由主器件发送的 7 位 ADDRESS 用于与从器件的每个自身地址相比较，以访问选择的器件。在主机模式下，在 SFR I2CDAT (DAh)[7:1] 中设置 ADDRESS。在从属模式下，在 I2CADDR (DBh)[7:1] 中设置 ADDRESS，且硬件自动比较输入是否对应于用户设置的 ADDRESS。如果是，触发 EX7 中断。

R/W 确定主器件是从从器件读取数据还是将数据写入到从器件。在主机模式下，在 SFR I2CDAT (DAh) 的最后位中设置 R/W，并在从属模式中通过硬件自动检测。

DATA 框架作为协议的数据，并能够从 SFR I2CDAT (DAh) 读取或写入到其中。

SFR I2CCON (DCh) 的标志 SI 通过中断 EX7 设置，且必须通过软件清除。

表 36. I²C 时钟速率位设置

I2CCON [7]	I2CCON [1:0]		SCL 频率 (f _{sys} = 30 MHz)	CLK 除以
	cr2	cr1 cr0		
0	0	0	117.18 kHz	256
0	0	1	133.9 kHz	224
0	1	0	156.2 kHz	192
0	1	1	187.5 kHz	160
1	0	0	31.25 kHz	960
1	0	1	250 kHz	120
1	1	0	500 kHz (超出高速模式 400 kbps)	60
1	1	1	时钟输入除以 8	

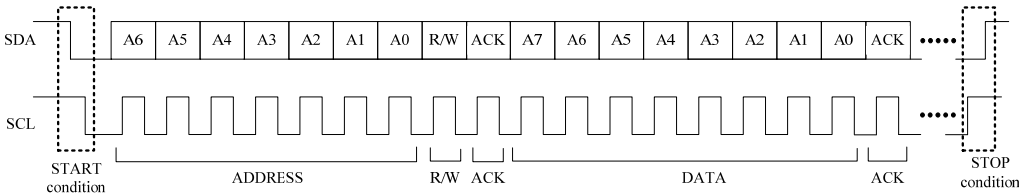


图 57. I²C 框架

4.13. MDU（乘-除单元）

MDU 是嵌入到 FCM8531 中的运算协处理器，提供 32 位除法、16 位除法、16 位乘法和 32 位移位及标准化。

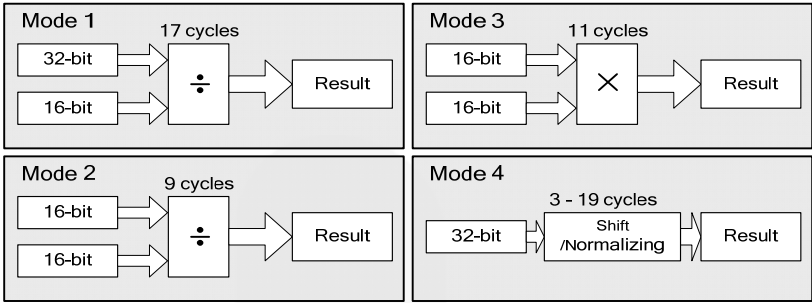


图 58. MDU（乘-除单元）

表 37. MDU 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
MD0 (E9h)	乘/除寄存器 0								00h
MD1 (EAh)	乘/除寄存器 1								00h
MD2 (EBh)	乘/除寄存器 2								00h
MD3 (ECh)	乘/除寄存器 3								00h
MD4 (EDh)	乘/除寄存器 4								00h
MD5 (EEh)	乘/除寄存器 5								00h
ARCON (EFh)	MDEF	MDOV	SLR	移位计数 [4:0]					00h

4.13.1 框图

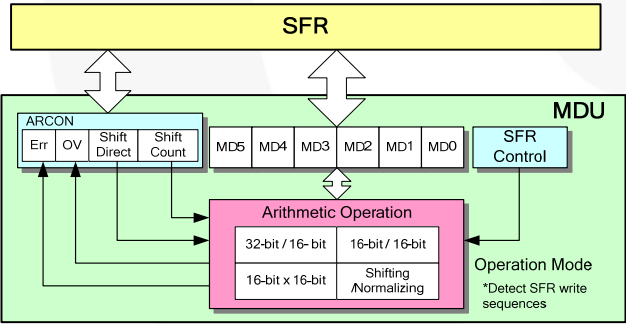


图 59. MDU 框图

4.13.2 说明

MDU 提供高速除法计算（32 位/16 位和 16 位/ 16 位）、乘法计算（16 位 × 16 位）算法、移位功能（32 位移位）和标准化功能（32 位标准化）。执行算法的类型由 MD0 - MD5 的写顺序确定，且执行持续时间取决于算法类型。请注意：在超出执行周期之前计算的结果一直有效（参见图 58）。

使用 MDU 执行完整计算有三个步骤。

正在载入

使用算法类型特定序列中的操作数填充 SFR MD0 - MD5。

计算

用户需要等待一定时间以执行计算，其取决于算法类型。

读数据

计算完成时，结果存储在 MD0 - MD5 中，并需要按顺序读取。

五个计算类型的操作指令显示如下：

32 位/ 16 位：

$$(MD3\ MD2\ MD1\ MD0) / (MD5\ MD4) = (MD3\ MD2\ MD1\ MD0).(MD5\ MD4)$$

- 加载：写入顺序为 MD0→MD1→MD2→MD3→MD4→MD5；MD3 - MD0 是被除数；MD5 - MD4 是除数。
- 计算：执行时间为 17 个系统时钟。
- 读取：读取顺序为 MD0 → MD1 → MD2 → MD3 → MD4 → MD5；MD3-MD0 是商数；MD5 - MD4 是余数。

16位/ 16位:

$(MD1\ MD0) / (MD5\ MD4) = (MD1\ MD0).(MD5\ MD4)$

- 加载: 写入顺序为 MD0 → MD1 → MD4 → MD5; MD1 - MD0 是被除数; MD5 - MD4 是除数。
- 计算: 执行时间为九个系统时钟。
- 读取: 读取顺序是 MD0 → MD1 → MD4 → MD5; MD1 - MD0 是商数; MD5 - MD4 是余数。

16 位 ×16 位:

$(MD5\ MD4) \times (MD1\ MD0) = (MD3\ MD2\ MD1\ MD0)$

- 加载: 写入顺序是 MD0 → MD4 → MD1 → MD5; MD5 - MD4 是被乘数; MD1 - MD0 是乘数。
- 计算: 执行时间为 11 个系统时钟。
- 读取: 读取顺序是 MD0 → MD1 → MD2 → MD3; MD3 - MD0 是乘积。

标准化:

$(MD3\ MD2\ MD1\ MD0) \rightarrow MD3\ MD2\ MD1\ MD0$

- 加载: 写入顺序是 MD0 → MD1 → MD2 → MD3 → ARCON = 00h; SFR ARCON (EFh) 应为 00h, 以使能标准化功能。
- 计算: 执行时间为 4 - 19 个系统时钟, 由移位确定 (参见表 38)。
- 读取: 读取顺序是 MD0 → MD1 → MD2 → MD3, 其中 MD3 是结果的最高字节, MD0 是最低字节。

移位:

$(MD3\ MD2\ MD1\ MD0) \rightarrow MD3\ MD2\ MD1\ MD0$

- 加载: 写入顺序是 MD0 → MD1 → MD2 → MD3 → ARCON。左或右移位和移位计数由 ARCON (EFh) 确定。ARCON (EFh)[5] = 1, 向右移位; ARCON (EFh)[5] = 0, 向左移位; ARCON (EFh)[4:0] 确定移位计数。
- 计算: 执行时间为 3 - 18 个系统时钟, 由移位确定。
- 读取: 读取顺序是 MD0 → MD1 → MD2 → MD3, 其中 MD3 是结果的最高字节, MD0 是最低字节。

在标准化和移位功能中, 移位数决定必需的执行周期。移位数对比 需要的时间显示在表 38 中。图 60 下面是 MDU 中五个模式的顺序和执行周期方案。

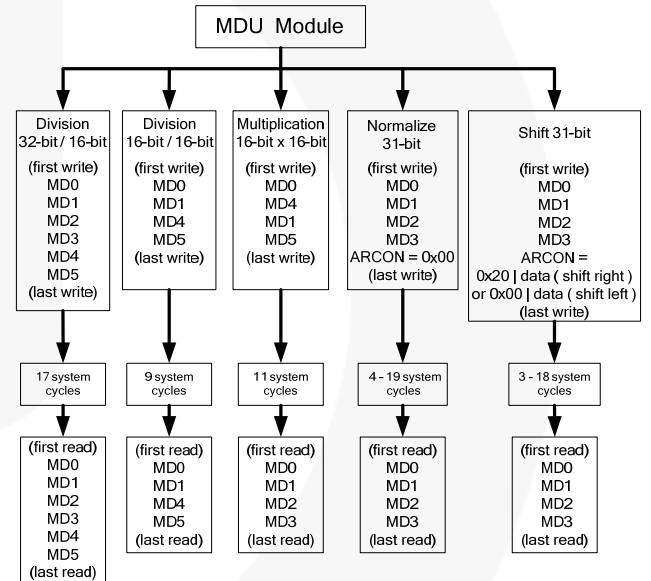


图 60. MDU 执行流程

表 38. 执行周期

	移位数															
	1, 2	3, 4	5, 6	7, 8	9,10	11, 12	13, 14	15, 16	17, 18	19, 20	21, 22	23, 24	25, 26	27, 28	29, 30	31
移位 (系统周期)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
标准化 (系统周期)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

如果发生任何 MDU 故障, 则设置 SFR ARCON 错误标志或溢出标志。有关详细说明, 请参考表 39。

表 39. MDU 故障标志

ARCON	条件
错误 = 1	计算期间将数据写到 MD0 - MD5 和 ARCON
	计算期间从 MD0 - MD5 读取数据
溢出 = 1	除以零
	在乘法中，乘积大于 FFFF0000h
	标准化中输入的 MSB 为 1

如果在 MDU 完成计算之前写入或读取 MDx 寄存器，则 SFR ARCON (EFh)[7] 设置为错误标志。读取后自动清除错误标志。

4.14. 看门狗

看门狗计时器是 15 位计数器，每 384 或 6144 个系统周期会逐步增加，其可用于监视系统，以避免软件或硬件错误。

表 40. 看门狗寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IP0 (A9h)	保留	WDTS	IP0[5:0]						00h
IEN1 (B8h)	EXEN2	SWDT	保留	EX5	EX4	EX3	EX2	EX7	00h
WDTREL (86h)	WDPS	WDTPER							00h
PCON (87h)	SMOD	WDT_TM	ISR_TM	保留			停止	IDLE	08h

4.14.1 框图

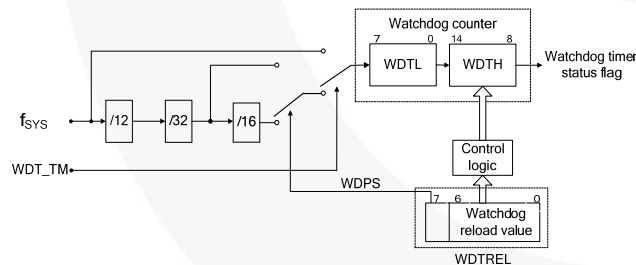


图 61. 看门狗框图

4.14.2 说明

SFR IEN1 (B8h) 的位 WDT 设置为激活/刷新看门狗计时器。一旦设置 WDT 后（看门狗功能使能），即再次设置 WDT，以刷新看门狗计时器，并立即通过硬件清除此位。

SFR PCON (87h) 的位 WDT_TM 确定计数器的时钟反馈是否通过前量程，如图 61 所示。请注意：如果设置了

WDT_TM，则看门狗的周期非常短，且可能导致意外问题。

SFR WDTREL (86h) 的位 WDPS 设置前量程。如果设置了 WDPS，则前量程按 $12 \times 32 \times 16$ 或者按 12×32 划分系统频率。

看门狗计时器是映射到 WDTL 和 WDTM 寄存器的 15 位计数器。当看门狗计时器通过 WDT 刷新时，SFR WDTREL 的位 WDTPER[6:0]（重新载入值）写入 WDTM。

当设置了 SFR IEN1 的位 SWDT 时，看门狗计时器时钟使能。当计数器溢出并设置了 SFR IP0 (A9h) 的 WDTS 位时，看门狗计时器应定期刷新或看门狗重置 MCU。但 WDTS 没有通过看门狗复位清除，且用户可以检查此位，以确定系统在复位后的软件起点是否发生错误。

应注意设置 WDT 和 SWDT 的序列；WDT 应设置在 SWDT 之前。

4.15. 邮箱

表 41. 邮箱寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
IEN2 (9Ah)	保留		EX12	EX11	EX10	EX9	EX8	保留	00h
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IRCON2 (BFh)	N/A			IEX12	IEX11	IEX10	IEX9	IEX8	00h
MTX0 (B0h)	发送到 AMC 的数据								00h
MTX1 (B1h)	发送到 AMC 的数据								00h
MTX2 (B2h)	发送到 AMC 的数据								00h
MTX3 (B3h)	发送到 AMC 的数据								00h
MRX0 (B4h)	从 AMC 接收的数据								00h
MRX1 (B5h)	从 AMC 接收的数据								00h
MRX2 (B6h)	从 AMC 接收的数据								00h
MRX3 (B7h)	从 AMC 接收的数据								00h

4.15.1 框图

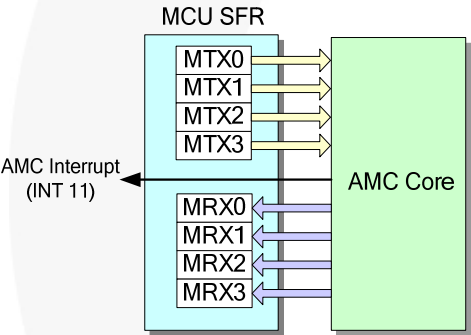


图 62. 邮箱框图

4.15.2 说明

FCM8531 在 SFR 中提供八个寄存器，MTX0 (B0h) - MTX3 (B3h) 和 MRX0 (B4h) - MRX3 (B7h)，用于 MCU 和 AMC 之间的通信；MTX0 - MTX3 用于传输数据到 AMC；MRX0 - MRX3 用于接收。

通过 AMC 中断，向 MCU 确认来自 AMC 的数据可用。

4.16. 访问 MSFR

表 42. 访问 MSFR 寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
MSFRADR (96h)	MSFR 地址 (00h - 7Fh)								00h
MSFRDAT (97h)	MSFR 数据								00h

4.16.1 说明

MSFR（电机特殊功能寄存器）用于访问电机控制的特殊功能块，即 PWM 设置、ADC 读取等。

要访问 MSFR，用户应首先用地址填充 MSFRADR (96h)，然后向 MSFRDAT 写入数据/自 MSFRDAT 读取数据 (97h)。

5. 模拟输入/输出

在 FCM8531 中有八个通道的 10 位 ADC（模数转换器）和一个 8 位 DAC（数模转换器）。

5.1. ADC

模拟信号输入引脚（IA、IB、IC、VA、VB、VC、ADC0 和 ADC3 / AOUT）可编程以实现不同目的，如电流感测、电压反馈、速度控制、过温保护或其他模拟信号输入（取决于应用）。ADC3 / AOUT 引脚位置可用作 0 – 4 V 模拟输出。通过 MSFR DACO (47h) 设置输出电压。

表 43. ADC 寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
ADCCFG (1Fh)	ADC_ST	N/A	DAC_EA	AD_CK	FS_DIV		ADC_TR		00h
IAL (20h)	IA[1:0]		N/A		保留	Bias_A0	GIA		0Ch
IAH (21h)	IA[10:2]								00h
IBL (22h)	IB[1:0]		N/A		保留	Bias_B0	GIB		0Ch
IBH (23h)	IB[10:2]								00h
ICL (24h)	IC[1:0]		N/A		Reserved	Bias_C0	GIC		0Ch
ICH (25h)	IC[10:2]								00h
VAL (28h)	VA[1:0]		N/A				GVA		00h
VAH (29h)	VA[10:2]								00h
VBL (2Ah)	VB[1:0]		N/A				GVB		00h
VBH (2Bh)	VB[10:2]								00h
VCL (2Ch)	VC[1:0]		N/A				GVC		00h
VCH (2Dh)	VC[10:2]								00h
ADC0L (30h)	ADC0[1:0]		N/A				GADC0		00h
ADC0H (31h)	ADC0[10:2]								00h
ADC3L (36h)	ADC3[1:0]		N/A				GADC3		00h
ADC3H (37h)	ADC3[10:2]								00h

5.1.1 框图

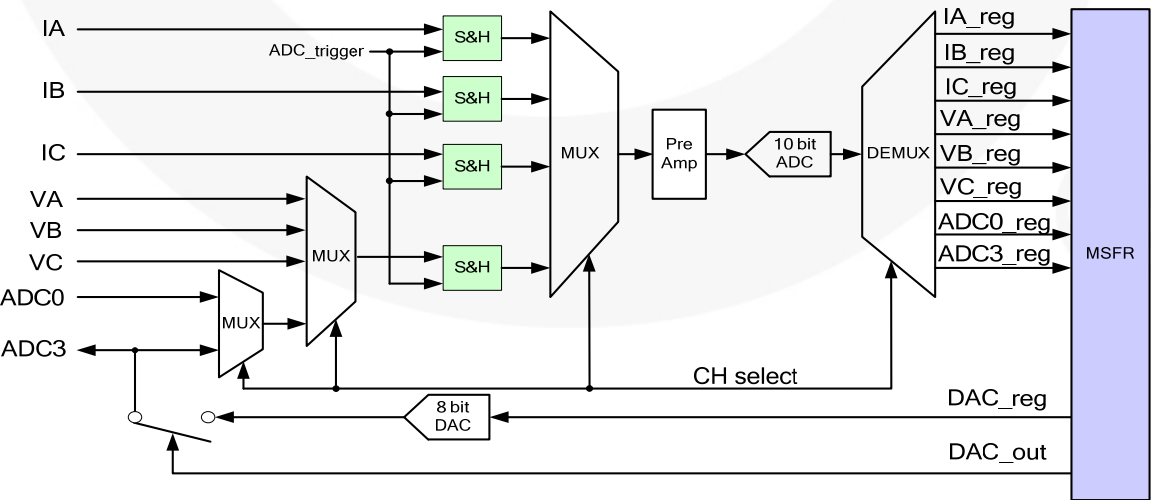


图 63. ADC 框图

5.2. DAC

ADC3 / AOOUT 引脚位置可用作 0 – 4 V 模拟输出。通过 MSFR DACO (47h) 设置输出电压。

表 45. DAC 输出寄存器

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
ADCCFG (1Fh)	ADC_ST	N/A	DAC_EA	AD_CK	FS_DIV		ADC_TR		00h
DACO (47h)	DACO								00h

5.2.1 框图

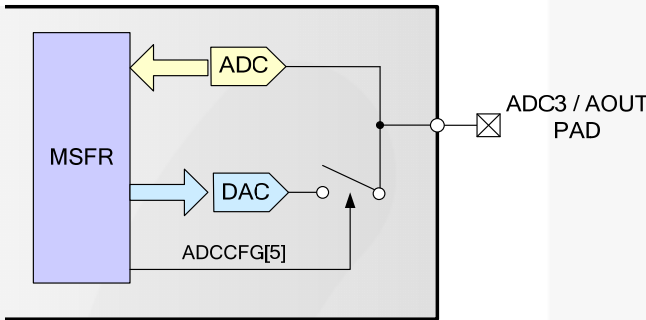


图 68. ADC3 / DAC 图

5.2.2 说明

MSFR ADCCFG (1Fh) 的设置位 DAC_EA 将 DAC 切换到引脚 ADC3 / AOOUT 上 (参见图 68)。

将 00h - FFh 的 8 位值填充到 MSFR DACO (47h), 以输出 0 – 4 V 的电压电平 (参见图 69)。

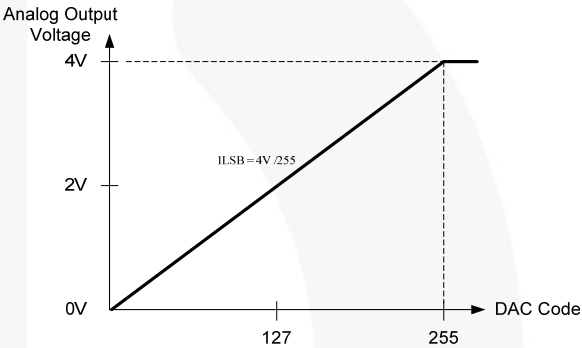


图 69. 填充的代码对比 DAC 输出

6. 保护

6.1. 故障功能

当发生以下状况之一时，进行故障保护：在 IA、IB 或 IC 引脚上检测到霍尔缓慢、霍尔错误和任何短路。

一旦发生短路（电流感测引脚的任何输入电压高于短路电压），PWM 会立即关闭，直到下一个周期为止（逐周期）并产生中断 EX8。对于此中断，可采取适当措施，通过软件保护系统。

当发生霍尔信号错误时，PWM 自动关闭，直到错误状态全部清除为止。

表 46. 故障和保护

类型	条件	操作
霍尔缓慢	霍尔周期溢出	故障中断
SHORT A	$IA > I_{SHORT}$	故障中断
SHORT B	$IB > I_{SHORT}$	故障中断
SHORT C	$IC > I_{SHORT}$	故障中断
霍尔错误	霍尔感应 = 111 或 000	故障中断（PWM 关闭）
OC高	$IA / IB / IC > I_{OCH}$	逐周期 PWM 关闭
OC低	$IA / IB / IC < I_{OCL}$	逐周期 PWM 关闭

表 47. 保护寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
HALINT (1Bh)	N/A				HTMR_OUT		HALL_INT		00h
MSTAT (3Fh)	VDD_TEST	H_SLOW	SHORT_A	SHORT_B	SHORT_C	H_ERR	S_ACT	DIR	00h
SHORT (46h)	SHORT								FFh
IEN2 (9Ah)	保留		EX12	EX11	EX10	EX9	EX8	保留	00h
IEN0 (A8h)	EA	WDT	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0	00h
IRCON2 (BFh)	保留			IEX12	IEX11	IEX10	IEX9	IEX8	00h

6.1.1 框图

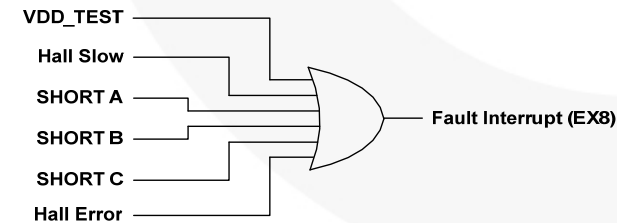


图 70. 故障保护

6.1.2 说明

三个条件：霍尔缓慢、短路和霍尔错误；通常通过硬件在 FCM8531 中触发 EX8 的故障中断，且故障信息存储在 MSFR MSTAT (3Fh) 中，以标识故障原因。

注意：中断 EX8 必须开启，以进行故障检测。

条件描述如下：

VDD_TEST
仅对于内部测试。检测到时请忽略。

霍尔缓慢
霍尔缓慢的情况发生在霍尔信号状态在特定设置时间内未改变时，导致霍尔周期计数器出现溢出。

通过 MSFR HALINT (1Bh) 的 HTMR_OUT 激活霍尔缓慢功能。HTMR_OUT 的设置介绍如下：

HTMR_OUT = b'00: 功能禁用

HTMR_OUT = b'01: 如果霍尔计数器 [17] = 1，则中断 EX8

HTMR_OUT = b'10: 如果霍尔计数器 [18] = 1，则中断 EX8

HTMR_OUT = b'11: 如果霍尔计数器 [19] = 1，则中断 EX8

请参见 PLL 部分进行参考。

SHORT

如果电机的相位电流（IA、IB、IC）浪涌直到 OCH 保护级别，则启动保护机制。硬件迅速检测并立即停止每个周期内的 PWM。超出 MSFR SHORT (46h) 短路级别设置时触发故障中断。对于此中断，可采取相应措施以通过软件保护系统（如图 71 中所示）。

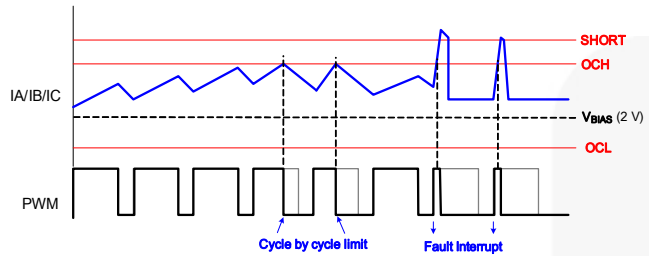


图 71. 电流保护

6.2. 电流保护

FCM8531 有三个类型的电流保护机制。在 MSFR OCH (44h)、OCL (45h) 和 SHORT (46h) 上设置保护级别。这些设置电压与电流反馈输入引脚（IA、IB、IC）上的电压相比较。当电压高于 OCH 或低于 OCL 时，PWM 立

霍尔错误

霍尔信号状态 111 或 000 视为异常输入，指示可能存在硬件问题。错误产生霍尔信号错误中断并关闭 PWM 输出。但错误状态释放后会立即自动恢复输出。

即关闭，如果状态释放（逐周期），会在下一周期启动时打开。如果电压超出 SHORT 级别，则触发故障中断（参见图 71 和图 72）。

表 48. 电流感测寄存器

字节名称 (地址)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	复位
OCCNTL (26h)	OC_DEB		OCCH_EA	OCBH_EA	OCAH_EA	OCCL_EA	OCBL_EA	OCAL_EA	00h
OCSTA (27h)	N/A		OCCH	OCBH	OCAH	OCCL	OCBL	OCAL	00h
OCH (44h)	OCH								FFh
OCL (45h)	OCL								10h
SHORT (46h)	SHORT								FFh

6.2.1 框图

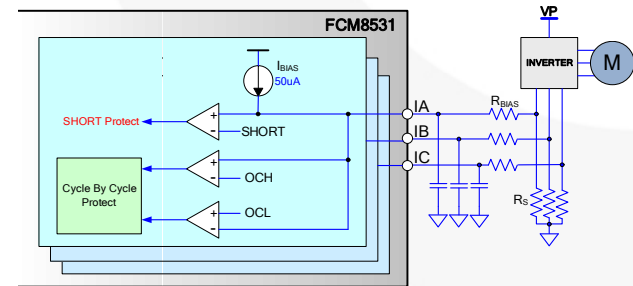


图 72. 电流反馈

6.2.2 说明

电流感测引脚为电机系统提供电流反馈和过流保护。每个电流感测引脚（IA、IB 和 IC）具有 50 μA 偏置电流输出。建议的偏置电压设置为 2.0 V (R_{BIAS} = 40 kΩ)。

$$V_{BIAS} = I_{BIAS} \times R_{BIAS} \tag{7}$$

在 MSFR OCH (44h)、MSFR OCL (45h) 和 MSFR SHORT (46h) 设置正和负过流保护等级和短路检测。电平范围 0 – 4 V。

当电流感测引脚的电压高于 OCH 或低于 OCL 时，PWM 立即关闭，如果状态释放（逐周期），会在下一周期启动时打开。

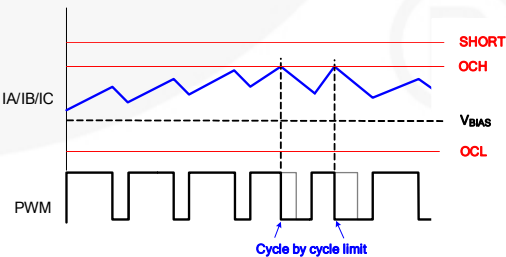


图 73. 过流保护

在表 49 中列出了每个保护机制。

设置 MSFR OCCNTL (26h) 的 OC_DEB，以选择去抖动时间 (600 – 1800 ns)。

过流保护升高相应标志，该标志可在 MSFR OCSTA (27h) 处读取，并在读取后自动清除。

表 49. 过流保护

	方波	正弦波	EN/DIS	标志
OCAH	逐周期 PWM 占空比限制 (高栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是
OCAL	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是
OCBH	逐周期 PWM 占空比限制 (高栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是
OCBL	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是
OCCH	逐周期 PWM 占空比限制 (高栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是
OCCL	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	逐周期空闲 (所有栅极关闭)	是	是

7. 电源管理

7.1. 上电和断电

上电

当 V_{DD} 超出 V_{DD_ON} 时, 电压发生器模块开始工作, 并提供要求的电力给 FCM8531 的内部电路。然后设置上电复位 (POR), 且时钟发生器启动。在大约 2 ms 后, 复位状态移除且 MCU 程序开始执行。

断电

当 V_{DD} 低于 V_{DD_OFF} 时, FCM8531 完全关断。

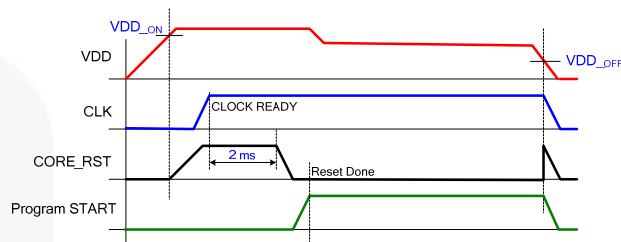


图 74. 上电和断电顺序

7.2. 节能

FCM8531 有三个省电模式: 空闲模式、停止模式和睡眠模式。在 SFR PCON (87h) 设置空闲和停止模式。在 MSFR SLEEP (43h) 设置睡眠模式。

空闲模式

MCU 程序执行暂停, 但外围 I/O 电路 (如 PWM、外部中断、定时和串行输出) 继续工作, 直至存在外部中断 (EX0/EX1) 或系统复位。

停止模式

程序、数字 I/O 接口和所有数字电路的执行暂停。该模式将一直持续到产生一个 EX0/EX1 外部中断信号或系统复位。

注意: 外部中断等级必须设置为低, 以具有中断。

睡眠模式

要进入睡眠模式, 必须设置 MSFR SLEEP (43h)[0]。图 75 说明了睡眠模式操作。在睡眠模式中, MCU 和 AMC 都关闭。此时, 警报计时器开始计数。超时 (T_{ALM}) 后, MCU 和 AMC 再次打开。

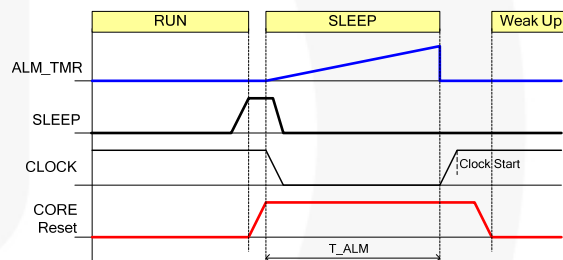


图 75. 休眠模式

8. 开发支持

8.1. MCDS（电机控制开发系统）

Fairchild 为 FCM8531 提供电机控制开发系统 (MCDS) 集成的研发环境 (IDE)。在 Microsoft® Windows 平台上，支持如项目构建、程序代码生成、编译、系统内编程 (ISP) 和片上调试支持 (OCDS) 等功能。这有利于了软件的开发和调试。

有关 MCDS 的详细信息，请参见：

[AN-8207—FCM8531 的 MCDS IDE 用户指南。](#)

8.2. AMC 库

高级电机控制 (AMC) 用于电机驱动。可配置处理内核可根据应用使用合适的 AMC 库来配置，以执行不同的电机控制算法，如磁场定向控制 (FOC) 或无传感器。

有关 AMC 库的更多信息，请参见：

[AN-8204 — AMC 库用户指南 - FCM8531 速度积分](#)

[AN-8206 — AMC 库用户指南 - FCM8531 滑动模式](#)

[AN-8205 — AMC 库用户指南 - FCM8531 霍尔接口](#)

8.3. 片上调试支持 (OCDS)

OCDS 用于软件程序调试，必须使用 Keil μVision® 软件环境执行。它可以覆写和监控 FCM8531 的内存和寄存器，具有启动、停止、逐步执行、断点等功能。

8.3.1 说明

OCDS 通过 JTAG 接口（IEEE 1149.1 端口）操作。它通过程序内存的最后字节使能。当设置为 0 时，OCDS 禁用（参见表 50）。当 OCDS 使能时，引脚 P14、P15、P16 和 P17 配置为 JTAG 功能引脚（参见表 51）。

注意：当 OCDS 使能时，请勿将这些引脚设置为直接驱动。

表 50. 程序内存最后字节

字节名称（地址）	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	清除
OCDS (2FFh)	OCDS_EN	锁定地址							FFh

表 51. JTAG 接口配置

JTAG	引脚	说明
TCK	P17	测试时钟输入
TMS	P16	测试模式选择输入
TDI	P15	测试数据输入
TDO	P14	测试数据输出

相关数据手册

[FCM8531 — 嵌入式 MCU 和可配置三相 PMSM / BLDC 电机控制器](#)

[AN-8203 — FCM8531 用户手册（指令集）](#)

[AN-8204 — FCM8531 AMC 库_速度积分](#)

[AN-8205 — FCM8531 AMC 库：霍尔接口](#)

[AN-8206 — FCM8531 AMC 库：滑动模式](#)

[AN-8207 — FCM8531 的 MCDS IDE 用户指南](#)

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.