

数据手册

FU7371Q

三相电机控制 MCU

控制核心 驱动未来

版权声明

版权所有©峰昭科技（深圳）股份有限公司（以下简称：峰昭科技）。

为改进设计和/或性能，峰昭科技保留对本文档所描述或包含的产品（包括电路、标准元件和/或软件）进行更改的权利。本文档中包含的信息供峰昭科技的客户进行一般性使用。峰昭科技的客户应确保采取适当行动，以使其对峰昭科技产品的使用不侵犯任何专利。峰昭科技尊重第三方的有效专利权，不侵犯或协助他人侵犯该等权利。

本文档版权归峰昭科技所有，未经峰昭科技明确书面许可，任何单位及个人不得以任何形式或方式（如电子、机械、磁性、光学、化学、手工操作或其他任何方式），对本文档任何内容进行复制、传播、抄录、存储于检索系统或翻译为任何语种，亦不得更改或删除本内容副本中的任何版权或其他声明信息。

免责声明

本文档为峰昭科技（深圳）股份有限公司及其子公司（以下简称“峰昭科技”）的财产。

本文档系以“原样”提供，峰昭科技对本文档不作任何明示或暗示的保证，包括但不限于对适销性、特定用途适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示保证。本文档中提供的任何信息仅供参考，峰昭科技不承担因应用或使用本文档而产生的任何责任。本文档的使用者有责任正确地设计、编程和测试由本文档构成的任何应用程序和任何最终产品的功能和安全性，自行承担全部风险，并同意为此类使用所导致的任何损害自行承担赔偿责任，为由此导致的索赔、诉讼及费用为峰昭科技进行辩护并使其免受损害。本文档未对峰昭科技的任何知识产权作出明示或暗示的许可。峰昭科技保留随时更改、更正或改进本文档的权利，恕不另行通知。

对本免责声明如有理解歧义，最终解释权归峰昭科技（深圳）股份有限公司。

目录

版权声明	1
免责声明	2
目录	3
符号及数字意义说明	28
英文缩写及说明	29
1 系统介绍	31
1.1 特性	31
1.2 应用场景	32
1.3 概述	33
1.4 系统框图	34
1.4.1 FU7371Q 功能框图	34
1.5 Memory 空间	35
1.5.1 CSR Memory	35
1.5.2 Flash	35
1.5.3 外设空间	36
1.5.4 Data Memory	36
1.5.5 映射表	36
1.5.5.1 CSR 地址映射表	36
1.5.5.2 外设地址映射表	40
1.5.5.2.1 ADC 地址映射表	40
1.5.5.2.2 CAN 地址映射表	40
1.5.5.2.3 NFOC1 地址映射表	42
1.5.5.2.4 NFOC2 地址映射表	46
2 引脚定义	51
2.1 FU7371Q QFN64 引脚列表	51
2.2 FU7371Q QFN64 引脚图	57
3 封装信息	59
3.1 FU7371Q QFN64_8X8	59

4 订购信息	60
5 电气特性	61
5.1 绝对最大额定值	61
5.2 全局电气特性.....	61
5.3 MR Sensor 电气特性.....	62
5.4 GPIO 电气特性	62
5.5 4N Pre-driver1 IO 电气特性	63
5.6 4N Pre-driver2 IO 电气特性.....	63
5.7 ADC 电气特性	64
5.8 参考电压电气特性.....	65
5.9 运算放大器电气特性.....	65
5.10 BEMF 电气特性	66
5.11 OSC 电气特性.....	66
5.12 复位电气特性	66
5.13 LDO 电气特性.....	66
5.14 封装热阻.....	67
6 复位控制	68
6.1 复位源(RST_SR).....	68
6.2 复位使能	68
6.3 外部引脚复位、上电复位.....	68
6.4 低电压保护复位	68
6.5 看门狗溢出复位	69
6.6 RSTFED 复位.....	69
6.7 RSTDBG 复位	69
6.8 软复位.....	69
6.9 复位寄存器.....	69
6.9.1 RST_SR (CSR:0x4D0)	69
6.9.2 RST_CR (CSR:0x4D1).....	70
7 中断.....	71
7.1 中断简介	71
7.2 中断源使能.....	71

7.3 外部中断	71
7.4 中断说明	72
7.5 中断寄存器	74
7.5.1 MIE (CSR:0x300)	74
7.5.2 IPx (CSR:0x409 + x) (x = 0/1/2/.../31)	74
7.5.3 PIE (CSR:0x400)	75
7.5.4 EXTI_TCON (CSR:0x407)	75
7.5.5 EXTI0IE (CSR:0x401)	76
7.5.6 EXTI1IE (CSR:0x402)	77
7.5.7 EXTI2IE (CSR:0x403)	78
7.5.8 EXTI0IF (CSR:0x404)	79
7.5.9 EXTI1IF (CSR:0x405)	81
7.5.10 EXTI2IF (CSR:0x406)	83
8 时钟门控	87
8.1 时钟门控寄存器	88
8.1.1 CK_CR (CSR:0x080)	88
9 I ² C	90
9.1 I ² C 简介	90
9.2 I ² C 操作说明	91
9.2.1 主机模式	91
9.2.2 从机模式	92
9.2.3 I ² C 中断源	92
9.3 I ² C 寄存器	93
9.3.1 I2Cx_CR (CSR:0x160/0x170)(x = 1/2)	93
9.3.2 I2Cx_ID (CSR:0x161/0x171)(x = 1/2)	94
9.3.3 I2Cx_DR (CSR:0x162/0x172)(x = 1/2)	94
9.3.4 I2Cx_SR (CSR:0x163/0x173)(x = 1/2)	95
9.3.5 I2Cx_BAUD (CSR:0x164/0x174)(n = 1/2)	97
10 SPI	98
10.1 SPI 简介	98
10.2 SPI 操作说明	98
10.2.1 信号说明	98

10.2.2 主输出、从输入(MOSI).....	98
10.2.3 主输入、从输出(MISO).....	98
10.2.4 串行时钟(SCLK).....	99
10.2.5 片选信号(NSS).....	99
10.2.6 单线半双工(SLINE).....	100
10.2.7 SPI 主机模式.....	100
10.2.7.1 主机模式配置.....	101
10.2.8 SPI 从机模式.....	101
10.2.8.1 从机模式配置.....	102
10.2.9 SPI 中断源.....	102
10.2.10 串行时钟时序.....	102
10.3 SPI 寄存器.....	103
10.3.1 SPI1_CR (CSR:0x180).....	103
10.3.2 SPI1_SR (CSR:0x181).....	105
10.3.3 SPI1_CLK (CSR:0x182).....	107
10.3.4 SPI1_DR (CSR:0x183).....	108
11 UART.....	109
11.1 UART1 和 UART2 简介.....	109
11.2 UART1 和 UART2 操作说明.....	109
11.2.1 模式 0.....	109
11.2.2 模式 1.....	110
11.2.3 模式 2.....	110
11.2.4 模式 3.....	110
11.3 UART1 和 UART2 中断源.....	111
11.4 UART 寄存器.....	111
11.4.1 UT _x _CR0 (CSR:0x0140/0x150)(x = 1/2).....	111
11.4.2 UT _x _CR1 (CSR:0x0141/0x151)(x = 1/2).....	112
11.4.3 UT _x _DR (CSR:0x0142/0x152)(x = 1/2).....	113
11.4.4 UT _x _BAUD (CSR:0x0143/0x153)(x = 1/2).....	114
12 LIN.....	115
12.1 LIN 简介.....	115
12.2 LIN 从机操作说明.....	115

12.3 睡眠和唤醒	116
12.4 错误侦测与处理.....	117
12.5 波特率模式切换.....	117
12.6 其它事项.....	117
12.7 LIN 寄存器	118
12.7.1 LIN_CR (CSR:0x1A0).....	118
12.7.2 LIN_SR (CSR:0x1A1)	119
12.7.3 LIN_CSR (CSR:0x1A2)	122
12.7.4 LIN_ID (CSR:0x1A3).....	123
12.7.5 LIN_SIZE (CSR:0x1A4)	123
12.7.6 LIN_BAUD (CSR:0x1A5)	123
12.7.7 LIN_CNT (CSR:0x1A6).....	124
12.7.8 LIN_IDLECNT (CSR:0x1A7)	124
13 CAN	125
13.1 CAN 简介	125
13.2 物理特性.....	125
13.3 帧结构	126
13.4 CAN 控制器总体描述.....	128
13.5 主要特点.....	128
13.6 工作模式.....	129
13.6.1 复位模式	129
13.6.2 正常模式	129
13.6.3 睡眠模式	129
13.7 功能描述.....	130
13.7.1 位时间特性.....	130
13.8 发送管理.....	131
13.8.1 发送优先级.....	131
13.8.2 发送中止	131
13.8.3 禁止自动重传模式.....	132
13.9 接收管理.....	132
13.9.1 接收过滤.....	133
13.9.1.1 标准帧单过滤器模式.....	133

13.9.1.2 扩展帧单过滤器模式.....	133
13.9.1.3 标准帧双过滤器模式.....	134
13.9.1.4 扩展帧双过滤器模式.....	134
13.9.2 错误管理	135
13.9.3 CANFD 操作	135
13.9.4 传输延迟补偿.....	137
13.10 CAN 中断事件	138
13.11 测试模式	140
13.11.1 自测模式.....	140
13.11.2 监听模式.....	140
13.11.3 自测监听模式	141
13.12 CAN 寄存器.....	142
13.12.1 CAN_CR0 (CSR:0x1C0).....	142
13.12.2 CAN_CR1 (CSR:0x1C1).....	143
13.12.3 CAN_STS (CSR:0x1C2)	144
13.12.4 CAN_IER (CSR:0x1C3).....	145
13.12.5 CAN_IFR (CSR:0x1C4)	147
13.12.6 CAN_TSPT (CSR:0x1C5).....	149
13.12.7 CAN_NBTR (CSR:0x1C6)	149
13.12.8 CAN_DBTR (CSR:0x1C7)	150
13.12.9 CAN_TDCR (CSR:0x1C8)	150
13.12.10 CAN_ACR (CSR:0x1C9).....	151
13.12.11 CAN_AMR (CSR:0x1CA)	151
13.12.12 CAN_ERR (CSR:0x1CB).....	151
13.12.13 CAN_ERLIM (CSR:0x1CC)	152
13.12.14 CAN_TMSTA (CSR:0x1CD)	153
13.12.15 CAN_TMIDx (CSR:0x1CE/0x1D0/0x1D2) (x = 0/1/2).....	156
13.12.16 CAN_TMDTx (CSR:0x1CF/0x1D1/0x1D3) (x = 0/1/2)	157
13.12.17 CAN_TX0DATx (0x400000A0 + x*4)	157
13.12.18 CAN_TX1DATx (0x400000E0 + x*4)	158
13.12.19 CAN_TX2DATx (0x40000120 + x*4).....	158
13.12.20 CAN_RXIDx (0x40000160 + x*72)	159
13.12.21 CAN_RXDTx (0x40000164 + x*72)	159

13.12.22 CAN_RX0DATx (0x40000168 + x*4)	160
13.12.23 CAN_RX1DATx (0x40000168 + x*4)	160
13.12.24 CAN_RX2DATx (0x40000168 + x*4)	161
14 DataMonitor	162
14.1 DataMonitor 简介	162
14.2 DataMonitor 操作说明.....	162
15 Timer5/6	163
15.1 Timer5/6 操作说明.....	163
15.1.1 分频器.....	163
15.2 TIMx_CNTR 的读写和计数.....	164
15.2.1 输出模式	164
15.2.1.1 TIMx_ARR/TIMx_DR 的读写.....	164
15.2.1.2 高/低电平输出模式	164
15.2.1.3 PWM 输出.....	165
15.2.1.4 中断事件	165
15.2.2 输入信号滤波和边沿检测.....	165
15.2.3 输入捕获模式.....	167
15.2.4 输入计数模式.....	168
15.2.5 QEP 输入模式&RSD 模式	169
15.2.5.1 RSD 的比较器采样.....	170
15.2.5.2 步进模式	170
15.2.6 QEP 输出模式.....	172
15.3 Timer5/6 寄存器	172
15.3.1 TIMx_CR0 (CSR:0x240/0x250) (x=5/6).....	172
15.3.2 TIMx_CR1 (CSR:0x241/0x251) (x=5/6).....	174
15.3.3 TIMx_IER (CSR:0x242/0x252) (x=5/6)	175
15.3.4 TIMx_SR (CSR:0x243/0x253) (x=5/6)	176
15.3.5 TIMx_CNTR (CSR:0x244/0x254) (x=5/6)	177
15.3.6 TIMx_DR (CSR: 0x245/0x255) (x=5/6).....	178
15.3.7 TIMx_ARR (CSR:0x246/0x256) (x=5/6)	178
15.3.8 TIMx_QEP_MNUM (CSR: 0x247/0x257) (x=5/6)	179
15.3.9 TIMx_QEP_TNUM (CSR:0x248/0x258) (x=5/6).....	179
15.3.10 TIMx_QEP_TS_EMP (CSR:0x249/0x259) (x=5/6)	180

15.3.11	TIM _x _QEP_CNTR (CSR: 0x24A/0x25A) (x=5/6).....	180
15.3.12	TIM _x _QEP_ARR (CSR: 0x24B/0x25B) (x=5/6).....	180
15.3.13	TIM5_CR2 (CSR:0x24C).....	181
15.3.14	TIM6_CR2 (CSR:0x25C).....	182
16	Timer3/4/7/8	183
16.1	Timer3/4/7/8 操作说明.....	183
16.1.1	分频器.....	183
16.1.2	TIM _x _CNTR 的读写和计数.....	184
16.1.3	输出模式	184
16.1.3.1	高/低电平输出模式	184
16.1.3.2	PWM 输出.....	184
16.1.3.3	中断事件	184
16.1.4	输入信号滤波和边沿检测.....	185
16.1.5	输入捕获模式.....	186
16.2	Timer3/4/7/8 寄存器.....	187
16.2.1	TIM _x _CR0 (CSR:0x220/0x230/0x260/0x270) (x = 3/4/7/8)	187
16.2.2	TIM _x _CR1 (CSR:0x221/0x231/0x261/0x271) (x = 3/4/7/8)	188
16.2.3	TIM _x _IER (CSR:0x222/0x232/0x262/0x272) (x = 3/4/7/8).....	189
16.2.4	TIM _x _SR (CSR:0x223/0x233/0x263/0x273) (x = 3/4/7/8)	189
16.2.5	TIM _x _CNTR (CSR:0x224/0x234/0x264/0x274) (x = 3/4/7/8)	190
16.2.6	TIM _x _DR (CSR:0x225/0x235/0x265/0x275) (x = 3/4/7/8).....	191
16.2.7	TIM _x _ARR (CSR:0x226/0x236/0x266/0x276) (x = 3/4/7/8).....	191
17	ME.....	192
17.1	ME 简介.....	192
17.2	Driver 控制器.....	192
17.2.1	4N Pre-driver 简介.....	193
17.2.2	计数比较	194
17.2.3	输出使能与极性控制.....	195
17.2.4	死区模块	196
17.3	FOC 电流环	196
17.3.1	参考输入	196
17.3.2	PI 控制	196

17.3.3 坐标转换	197
17.3.3.1 Park 逆变换	197
17.3.3.2 Clarke 变换	197
17.3.3.3 Park 变换	198
17.3.4 SVPWM	198
17.3.4.1 七段式 SVPWM	199
17.3.4.2 五段式 SVPWM	200
17.3.5 过调制	200
17.3.6 死区补偿	200
17.3.7 电流电压采样	200
17.3.7.1 单电阻采样模式	201
17.3.7.2 双/三电阻采样模式	202
17.3.7.3 电流采样偏置	203
17.3.7.4 电流采样模式切换	203
17.4 角度输出	204
17.4.1 观测器速度	204
17.4.1.1 反电动势估算	204
17.4.1.2 启动	205
17.4.2 高频注入	206
17.4.3 磁链观测器	206
17.4.3.1 一般磁链观测器 CFO	206
17.4.3.2 非线性磁链观测器 NFO	206
17.4.3.3 全阶磁链观测器 AFO	207
17.4.4 角度计算	207
17.5 FOC 外环	207
17.6 爬坡计算	208
17.7 功率计算	209
17.8 弱磁	209
17.9 端电压	210
17.10 UQ 注入	210
17.11 软件调用 CORDIC	210
17.12 角度融合	211
17.13 电流环解耦	211
17.14 ME 中断源	212

17.14.1 Driver 比较匹配中断	212
17.14.2 FG 中断	213
17.14.3 电机保护中断	214
17.14.3.1 软件过流保护	214
17.14.3.2 过/欠压保护	214
17.14.3.3 堵转保护	215
17.14.3.4 缺相保护	216
17.15 高速电压相位补偿	217
17.16 ME 寄存器	217
17.16.1 Driver 计数器寄存器	217
17.16.1.1 DRVx_IER (CSR:0x542/0x582) (x = 1/2)	217
17.16.1.2 DRVx_IFR (CSR:0x543/0x583) (x = 1/2)	218
17.16.1.3 DRVx_CNTR (CSR:0x55A/0x59A) (x = 1/2)	219
17.16.1.4 DRVx_ARR (CSR:0x550/0x590) (x = 1/2)	219
17.16.1.5 DRVx_COMR (CSR:0x552/0x592) (x = 1/2)	220
17.16.1.6 DRVx_DR (CSR:0x551/0x591) (x = 1/2)	220
17.16.1.7 DRVx_COMUR (CSR:0x55D/0x59D) (x = 1/2)	221
17.16.1.8 DRVx_COMDR (CSR:0x55E/0x59E) (x = 1/2)	221
17.16.1.9 DRVx_CMPU1 (CSR:0x554/0x594) (x = 1/2)	222
17.16.1.10 DRVx_CMPD1 (CSR:0x555/0x595) (x = 1/2)	222
17.16.1.11 DRVx_CMPU2 (CSR:0x556/0x596) (x = 1/2)	223
17.16.1.12 DRVx_CMPD2 (CSR:0x557/0x597) (x = 1/2)	223
17.16.1.13 DRVx_CMPU3 (CSR:0x558/0x598) (x=1/2)	224
17.16.1.14 DRVx_CMPD3 (CSR:0x559/0x599) (x = 1/2)	224
17.16.2 FOC 控制状态寄存器	226
17.16.2.1 ME_CR (CSR:0x500)	226
17.16.2.2 DRVx_CR (CSR:0x540/0x580) (x = 1/2)	227
17.16.2.3 DRVx_OUT (CSR:0x541/0x581) (x = 1/2)	229
17.16.2.4 DRVx_CMR (CSR:0x547/0x587) (x = 1/2)	230
17.16.2.5 NFOCx_CMRS (0x30000276/ 0x30010276) (x = 1/2)	231
17.16.2.6 DRVx_FCR0 (CSR:0x548/0x588) (x = 1/2)	231
17.16.2.7 DRVx_FCR1 (CSR:0x549/0x589) (x = 1/2)	233
17.16.2.8 DRVx_FCR2 (CSR:0x54A/0x58A) (x = 1/2)	235
17.16.2.9 DRVx_FCR3 (CSR:0x54B/0x58B) (x = 1/2)	237
17.16.2.10 DRVx_FCR4 (CSR:0x54C/0x58C) (x = 1/2)	238
17.16.2.11 DRVx_FCR5 (CSR:0x54D/0x58D) (x = 1/2)	239
17.16.2.12 DRVx_FCR6 (CSR:0x54E/0x58E) (x = 1/2)	240

17.16.2.13	DRVx_FCR7 (CSR:0x54F/0x58F) (x = 1/2)	242
17.16.2.14	DRVx_DTR (CSR:0x553/0x593) (x = 1/2)	243
17.16.2.15	DRVx_ARRSH (CSR:0x55F/0x59F) (x = 1/2)	243
17.16.3	时间与采样寄存器	245
17.16.3.1	NFOCx_TS (0x30000278/0x30010278) (x = 1/2)	245
17.16.3.2	NFOCx_NTS (0x3000027A/0x3001027A) (x = 1/2)	245
17.16.3.3	NFOCx_TDLY (0x3000027C/0x3001027C) (x = 1/2)	246
17.16.3.4	NFOCx_TDLYD (0x3000027E/0x3001027E) (x = 1/2)	246
17.16.3.5	NFOCx_TDTC (0x300001B6/0x300101B6) (x = 1/2)	247
17.16.3.6	NFOCx_I1 (0x300001BC/0x300101BC) (x = 1/2)	247
17.16.3.7	NFOCx_I2 (0x300001BE/0x300101BE) (x = 1/2)	247
17.16.3.8	NFOCx_TRG1 (0x30000250/0x30010250) (x = 1/2)	248
17.16.3.9	NFOCx_TRG2 (0x30000252/0x30010252) (x = 1/2)	248
17.16.3.10	DRVx_TRG1 (CSR:0x55B/0x59B) (x = 1/2)	249
17.16.3.11	DRVx_TRG2 (CSR:0x55C/0x59C) (x = 1/2)	249
17.16.3.12	NFOCx_DLYCNT (0x30000396/0x30010396) (x = 1/2)	249
17.16.3.13	NFOCx_ARR (0x30000280/0x30010280) (x = 1/2)	250
17.16.3.14	NFOCx_OSCNT (0x3000037E/0x3001037E) (x = 1/2)	250
17.16.3.15	NFOCx_OSSUM (0x30000380/0x30010380) (x = 1/2)	251
17.16.3.16	NFOCx_CSAM (0x3000038E/0x3001038E) (x = 1/2)	251
17.16.4	电压寄存器	252
17.16.4.1	NFOCx_UDC (0x30000000/0x30010000) (x = 1/2)	252
17.16.4.2	NFOCx_UDCK (0x30000002/0x30010002) (x = 1/2)	252
17.16.4.3	NFOCx_UDCFLT (0x30000004/0x30010004) (x = 1/2)	253
17.16.4.4	NFOCx_UDCD (0x30000294/0x30010294) (x = 1/2)	253
17.16.4.5	NFOCx_UDCQ (0x30000296/0x30010296) (x = 1/2)	253
17.16.4.6	NFOCx_UALPHA (0x30000220/0x30010220) (x = 1/2)	254
17.16.4.7	NFOCx_UBETA (0x30000222/0x30010222) (x = 1/2)	254
17.16.4.8	NFOCx_UDCALP (0x300000A4/0x300100A4) (x = 1/2)	255
17.16.4.9	NFOCx_UDCBET (0x300000A6/0x300100A6) (x = 1/2)	255
17.16.4.10	NFOCx_UALORG (0x30000118/0x30010118) (x = 1/2)	256
17.16.4.11	NFOCx_UBEORG (0x3000011A/0x3001011A) (x = 1/2)	256
17.16.4.12	NFOCx_UALCPS (0x300001DC/0x300101DC) (x = 1/2)	257
17.16.4.13	NFOCx_UBECPS (0x300001DE/0x300101DE) (x = 1/2)	257
17.16.4.14	NFOCx_OMUNIT (0x3000038C/0x3001038C) (x = 1/2)	258
17.16.5	端电压采样寄存器	259
17.16.5.1	NFOCx_USOMEK (0x3000025C/0x3001025C) (x = 1/2)	259
17.16.5.2	NFOCx_UA (0x3000025E/0x3001025E) (x = 1/2)	259

17.16.5.3 NFOCx_UB (0x30000260/0x30010260) (x = 1/2).....	259
17.16.5.4 NFOCx_UC (0x30000262/0x30010262) (x = 1/2).....	260
17.16.5.5 NFOCx_USK (0x30000264/0x30010264) (x = 1/2)	260
17.16.5.6 NFOCx_USOUS (0x30000266/0x30010266) (x = 1/2).....	261
17.16.6 电流寄存器	262
17.16.6.1 NFOCx_IA (0x300001C0/0x300101C0) (x = 1/2).....	262
17.16.6.2 NFOCx_IB (0x300001C2/0x300101C2) (x = 1/2).....	262
17.16.6.3 NFOCx_IC (0x300001C4/0x300101C4) (x = 1/2).....	262
17.16.6.4 NFOCx_IAMAX (0x300001C8/0x300101C8) (x = 1/2)	263
17.16.6.5 NFOCx_IBMAX (0x300001CA/0x300101CA) (x = 1/2)	263
17.16.6.6 NFOCx_ICMAX (0x300001C6/0x300101C6) (x = 1/2)	264
17.16.6.7 NFOCx_IAREF (0x30000008/0x30010008) (x = 1/2).....	264
17.16.6.8 NFOCx_IBREF (0x3000000A/0x3001000A) (x = 1/2).....	265
17.16.6.9 NFOCx_ICREF (0x3000000C/0x3001000C) (x = 1/2).....	265
17.16.6.10 NFOCx_IALPHA (0x30000134/0x30010134) (x = 1/2).....	266
17.16.6.11 NFOCx_IBETA (0x30000136/0x30010136) (x = 1/2).....	266
17.16.6.12 NFOCx_ID (0x30000138/0x30010138) (x = 1/2).....	266
17.16.6.13 NFOCx_IQ (0x3000013A/0x3001013A) (x = 1/2).....	267
17.16.6.14 NFOCx_IDFLT (0x3000013C/0x3001013C) (x = 1/2)	267
17.16.6.15 NFOCx_IQFLT (0x30000154/0x30010154) (x = 1/2).....	268
17.16.6.16 NFOCx_IDK (0x30000284/0x30010284) (x = 1/2).....	268
17.16.6.17 NFOCx_IQK (0x30000286/0x30010286) (x = 1/2).....	268
17.16.6.18 NFOCx_UESTA (0x30000208/0x30010208) (x = 1/2).....	269
17.16.6.19 NFOCx_UESTB (0x3000020A/0x3001020A) (x = 1/2).....	269
17.16.7 ITRIP 与功率寄存器	270
17.16.7.1 NFOCx_IS (0x300003EC/0x300103EC) (x = 1/2).....	270
17.16.7.2 NFOCx_ITREF (0x3000000E/0x3001000E) (x = 1/2).....	270
17.16.7.3 NFOCx_ITFLT (0x300000D4/0x300100D4) (x = 1/2).....	271
17.16.7.4 NFOCx_ITRIP (0x300000D8/0x300100D8) (x = 1/2)	271
17.16.7.5 NFOCx_POWER (0x300000DA/0x300100DA) (x = 1/2)	271
17.16.7.6 NFOCx_US (0x300000DC/0x300100DC) (x = 1/2).....	272
17.16.7.7 NFOCx_ITK (0x300001D4/0x300101D4) (x = 1/2).....	272
17.16.7.8 NFOCx_POWK1 (0x300001D6/0x300101D6) (x = 1/2).....	273
17.16.7.9 NFOCx_POWK2 (0x300001D7/0x300101D7) (x = 1/2).....	273
17.16.8 D 轴寄存器.....	274
17.16.8.1 NFOCx_DKP (0x30000100/0x30010100) (x = 1/2)	274
17.16.8.2 NFOCx_DKI (0x30000102/0x30010102) (x = 1/2)	274
17.16.8.3 NFOCx_DMAX (0x30000104/0x30010104) (x = 1/2).....	275

17.16.8.4 NFOCx_DMIN (0x30000106/0x30010106) (x = 1/2)	275
17.16.8.5 NFOCx_DEK (0x30000108/0x30010108) (x = 1/2)	276
17.16.8.6 NFOCx_DEK1 (0x3000010A/0x3001010A) (x = 1/2).....	276
17.16.8.7 NFOCx_DUK (0x3000010C/0x3001010C) (x = 1/2).....	276
17.16.8.8 NFOCx_IDREF (0x300001B8/0x300101B8) (x = 1/2).....	277
17.16.8.9 NFOCx_UDCPS (0x300001CC/0x300101CC) (x = 1/2).....	277
17.16.8.10 NFOCx_UDCPS1 (0x300003FC/0x300103FC) (x = 1/2).....	278
17.16.8.11 NFOCx_UDK (0x30000370/0x30010370) (x = 1/2).....	278
17.16.8.12 NFOCx_UDFLT (0x30000374/0x30010374).....	278
17.16.8.13 NFOCx_UDFIN (0x3000021C/0x3001021C) (x = 1/2)	279
17.16.9 Q 轴寄存器	280
17.16.9.1 NFOCx_QKP (0x30000120/0x30010120) (x = 1/2).....	280
17.16.9.2 NFOCx_QKI (0x30000122/0x30010122) (x = 1/2)	280
17.16.9.3 NFOCx_QMAX (0x30000124/0x30010124) (x = 1/2).....	281
17.16.9.4 NFOCx_QMIN (0x30000126/0x30010126) (x = 1/2)	281
17.16.9.5 NFOCx_QEK (0x30000128/0x30010128) (x = 1/2).....	282
17.16.9.6 NFOCx_QEK1 (0x3000012A/0x3001012A) (x = 1/2)	282
17.16.9.7 NFOCx_QUK (0x3000012C/0x3001012C) (x = 1/2).....	282
17.16.9.8 NFOCx_IQREF (0x300001BA/0x300101BA) (x = 1/2).....	283
17.16.9.9 NFOCx_UQCPS (0x300001CE/0x300101CE) (x = 1/2).....	283
17.16.9.10 NFOCx_UQCPS1 (0x300003FE/0x300103FE) (x = 1/2).....	284
17.16.9.11 NFOCx_UQK (0x30000372/0x30010372) (x = 1/2).....	284
17.16.9.12 NFOCx_UQFLT (0x30000378/0x30010378) (x = 1/2).....	284
17.16.9.13 NFOCx_UQFIN (0x3000021E/0x3001021E) (x = 1/2).....	285
17.16.10 弱磁寄存器.....	286
17.16.10.1 NFOCx_FWKP (0x30000180/0x30010180) (x = 1/2).....	286
17.16.10.2 NFOCx_FWKI (0x30000182/0x30010182) (x = 1/2)	286
17.16.10.3 NFOCx_FWMAX (0x30000184/0x30010184) (x = 1/2).....	287
17.16.10.4 NFOCx_FWMIN (0x30000186/0x30010186) (x = 1/2)	287
17.16.10.5 NFOCx_FWEK (0x30000188/0x30010188) (x = 1/2).....	288
17.16.10.6 NFOCx_FWEK1 (0x3000018A/0x3001018A) (x = 1/2)	288
17.16.10.7 NFOCx_FWUK (0x3000018C/0x3001018C) (x = 1/2).....	288
17.16.10.8 NFOCx_KUSF (0x30000192/0x30010192) (x = 1/2)	289
17.16.10.9 NFOCx_FWREF (0x30000274/0x30010274) (x = 1/2).....	289
17.16.10.10 NFOCx_FWIDR (0x3000037C/0x3001037C) (x = 1/2).....	290
17.16.10.11 NFOCx_IDRLIM (0x300003B6/0x300103B6) (x = 1/2)	290
17.16.10.12 NFOCx_USFLT (0x300003F0/0x300103F0) (x = 1/2).....	290
17.16.11 UQ 注入寄存器	292

17.16.11.1 NFOCx_UIK0 (0x30000238/0x30010238) (x = 1/2)	292
17.16.11.2 NFOCx_UIK1 (0x3000023A/0x3001023A) (x = 1/2).....	292
17.16.11.3 NFOCx_UIK2 (0x3000023C/0x3001023C) (x = 1/2).....	293
17.16.11.4 NFOCx_UIK3 (0x3000023E/0x3001023E) (x = 1/2).....	293
17.16.11.5 NFOCx_UITC0 (0x30000240/0x30010240) (x = 1/2)	293
17.16.11.6 NFOCx_UIUS0 (0x30000242/0x30010242) (x = 1/2).....	294
17.16.11.7 NFOCx_UITC1 (0x30000244/0x30010244) (x = 1/2)	294
17.16.11.8 NFOCx_UIUS1 (0x30000246/0x30010246) (x = 1/2).....	295
17.16.11.9 NFOCx_UITC2 (CSR:0x30000248/0x30010248) (x = 1/2).....	295
17.16.11.10 NFOCx_UIUS2 (0x3000024A/0x3001024A) (x = 1/2)	295
17.16.11.11 NFOCx_UITC3 (0x3000024C/0x3001024C) (x = 1/2).....	296
17.16.11.12 NFOCx_UIUS3 (0x3000024E/0x3001024E) (x = 1/2).....	296
17.16.12 高频注入寄存器	297
17.16.12.1 NFOCx_HKP (0x300000E0/0x300100E0) (x = 1/2)	297
17.16.12.2 NFOCx_HKI (0x300000E2/0x300100E2) (x = 1/2).....	297
17.16.12.3 NFOCx_HMAX (0x300000E4/0x300100E4) (x = 1/2).....	298
17.16.12.4 NFOCx_HMIN (0x300000E6/0x300100E6) (x = 1/2)	298
17.16.12.5 NFOCx_HEK (0x300000E8/0x300100E8) (x = 1/2)	299
17.16.12.6 NFOCx_HEK1 (0x300000EA/0x300100EA) (x = 1/2).....	299
17.16.12.7 NFOCx_HUK (0x300000EC/0x300100EC) (x = 1/2).....	299
17.16.12.8 NFOCx_HALPHA (0x300000FC/0x300100FC) (x = 1/2)	300
17.16.12.9 NFOCx_HBETA (0x300000FE/0x300100FE) (x = 1/2)	300
17.16.12.10 NFOCx_HS (0x30000114/0x30010114) (x = 1/2).....	301
17.16.12.11 NFOCx_ID0 (0x300000F4/0x300100F4) (x = 1/2).....	301
17.16.12.12 NFOCx_IQ0 (0x300000F6/0x300100F6) (x = 1/2).....	301
17.16.12.13 NFOCx_HTCOM (0x3000011E/0x3001011E).....	302
17.16.13 观测器寄存器.....	303
17.16.13.1 NFOCx_EKP (0x30000140/0x30010140) (x = 1/2).....	303
17.16.13.2 NFOCx_EKI (0x30000142/0x30010142) (x = 1/2)	303
17.16.13.3 NFOCx_EMAX (0x30000144/0x30010144) (x = 1/2).....	304
17.16.13.4 NFOCx_EMIN (0x30000146/0x30010146) (x = 1/2)	304
17.16.13.5 NFOCx_EEK (0x30000148/0x30010148) (x = 1/2).....	305
17.16.13.6 NFOCx_EEK1 (0x3000014A/0x3001014A) (x = 1/2).....	305
17.16.13.7 NFOCx_EUK (0x3000014C/0x3001014C) (x = 1/2).....	305
17.16.13.8 NFOCx_EK1 (0x300001A8/0x300101A8) (x = 1/2)	306
17.16.13.9 NFOCx_EK2 (0x300001AA/0x300101AA) (x = 1/2)	306
17.16.13.10 NFOCx_EK3 (0x300001AC/0x300101AC) (x = 1/2)	307
17.16.13.11 NFOCx_EK4 (0x300001AE/0x300101AE) (x = 1/2)	307

17.16.14 SMO 寄存器.....	308
17.16.14.1 NFOCx_KSLIDE (0x300001B0/0x300101B0) (x = 1/2).....	308
17.16.14.2 NFOCx_MAXERR (0x300001B2/0x300101B2) (x = 1/2).....	308
17.16.14.3 NFOCx_MERRRE (0x300001B4/0x300101B4) (x = 1/2).....	309
17.16.15 低速观测器寄存器.....	310
17.16.15.1 NFOCx_LK1 (0x300001EC/0x300101EC) (x = 1/2).....	310
17.16.15.2 NFOCx_LK2 (0x300001EE/0x300101EE) (x = 1/2).....	310
17.16.15.3 NFOCx_LK3 (0x300001F0/0x300101F0) (x = 1/2).....	310
17.16.15.4 NFOCx_LK4 (0x300001F2/0x300101F2) (x = 1/2).....	311
17.16.15.5 NFOCx_LK5 (0x300001F4/0x300101F4) (x = 1/2).....	311
17.16.15.6 NFOCx_LK6 (0x300001F6/0x300101F6) (x = 1/2).....	312
17.16.15.7 NFOCx_LED (0x300001F8/0x300101F8) (x = 1/2).....	312
17.16.15.8 NFOCx_LEQ (0x300001FA/0x300101FA) (x = 1/2).....	312
17.16.15.9 NFOCx_LOME (0x300001FC/0x300101FC) (x = 1/2).....	313
17.16.16 磁链观测器寄存器.....	314
17.16.16.1 NFOCx_AFKP (0x300000C0/0x300100C0) (x = 1/2).....	314
17.16.16.2 NFOCx_AFKI (0x300000C2/0x300100C2) (x = 1/2).....	314
17.16.16.3 NFOCx_AFMAX (0x300000C4/0x300100C4) (x = 1/2).....	315
17.16.16.4 NFOCx_AFMIN (0x300000C6/0x300100C6) (x = 1/2).....	315
17.16.16.5 NFOCx_AFEK (0x300000C8/0x300100C8) (x = 1/2).....	315
17.16.16.6 NFOCx_AFEK1 (0x300000CA/0x300100CA) (x = 1/2).....	316
17.16.16.7 NFOCx_AFUK (0x300000CC/0x300100CC) (x = 1/2).....	316
17.16.16.8 NFOCx_AFRPAH (0x3000015C/0x3001015C) (x = 1/2).....	317
17.16.16.9 NFOCx_AFRPBH (0x30000174/0x30010174) (x = 1/2).....	317
17.16.16.10 NFOCx_AFKDF (0x3000017C/0x3001017C) (x = 1/2).....	317
17.16.16.11 NFOCx_AFKAF (0x3000017E/0x3001017E) (x = 1/2).....	318
17.16.16.12 NFOCx_FEK5 (0x300001B0/0x300101B0) (x = 1/2).....	318
17.16.16.13 NFOCx_FEK6 (0x300001B4/0x300101B4) (x = 1/2).....	319
17.16.16.14 NFOCx_FEK7 (0x30000BC/0x30010BC) (x = 1/2).....	319
17.16.16.15 NFOCx_FEK8 (0x30000BE/0x30010BE) (x = 1/2).....	319
17.16.16.16 NFOCx_AFTHE (0x30000254/0x30010254) (x = 1/2).....	320
17.16.17 速度与角度寄存器.....	321
17.16.17.1 NFOCx_EALPHA (0x3000015C/0x3001015C) (x = 1/2).....	321
17.16.17.2 NFOCx_EBETA (0x30000174/0x30010174) (x = 1/2).....	321
17.16.17.3 NFOCx_ETHERTA (0x30000178/0x30010178) (x = 1/2).....	321
17.16.17.4 NFOCx_ZALORG (0x3000017C/0x3001017C) (x=1/2).....	322
17.16.17.5 NFOCx_ZBEORG (0x3000017E/0x3001017E) (x=1/2).....	322

17.16.17.6 NFOCx_EMF (0x300001E0/0x300101E0) (x = 1/2).....	323
17.16.17.7 NFOCx_OMEGA (0x30000204/0x30010204) (x = 1/2).....	323
17.16.17.8 NFOCx_FTCK (0x3000019E/0x3001019E) (x = 1/2)	323
17.16.17.9 NFOCx_FGBASE (0x300001D8/0x300101D8) (x = 1/2)	324
17.16.17.10 NFOCx_OMEM12 (0x300001A2/0x300101A2) (x = 1/2).....	324
17.16.17.11 NFOCx_THECOM (0x300001A4/0x300101A4) (x = 1/2).....	325
17.16.17.12 NFOCx_FTCOM (0x300001A6/0x300101A6) (x = 1/2).....	325
17.16.17.13 NFOCx_OMEFLT (0x3000020C/0x3001020C) (x = 1/2).....	326
17.16.17.14 NFOCx_OMEFLT2 (0x30000210/0x30010210) (x = 1/2).....	326
17.16.17.15 NFOCx_ZALPHA (0x30000214/0x30010214) (x=1/2)	326
17.16.17.16 NFOCx_ZBETA (0x30000216/0x30010216) (x=1/2).....	327
17.16.17.17 NFOCx_KLPF (0x30000218/0x30010218) (x = 1/2).....	327
17.16.17.18 NFOCx_FTCPS (CSR:0x30000268/0x30010268) (x = 1/2)	328
17.16.17.19 NFOCx_FTHETA (0x3000026A/0x3001026A) (x = 1/2).....	328
17.16.17.20 NFOCx_ITHETA (0x300003EE/0x300103EE) (x = 1/2).....	329
17.16.17.21 NFOCx_THETA (0x30000158/0x30010158) (x = 1/2).....	329
17.16.17.22 NFOCx_OTHETA (0x30000258/0x30010258) (x = 1/2)	329
17.16.17.23 NFOCx_DELOTHE (0x3000028C/0x3001028C) (x = 1/2)	330
17.16.17.24 NFOCx_DELETEHE (0x30000290/0x30010290) (x = 1/2)	330
17.16.17.25 NFOCx_UTHETA (0x300000DE/0x300100DE) (x = 1/2).....	331
17.16.17.26 NFOCx_FBASE (0x300001A0/0x300101A0) (x = 1/2)	331
17.16.18 OMEGA 启动寄存器	332
17.16.18.1 NFOCx_OMEGAK (0x30000288/0x30010288) (x = 1/2).....	332
17.16.18.2 NFOCx_OMEK2 (0x3000028A/0x3001028A) (x = 1/2)	332
17.16.18.3 NFOCx_OMEACC (0x30000194/0x30010194) (x = 1/2).....	333
17.16.18.4 NFOCx_OMEEND (0x30000198/0x30010198) (x = 1/2).....	333
17.16.18.5 NFOCx_OMEMIN (0x3000019C/0x3001019C) (x = 1/2).....	333
17.16.19 外环寄存器.....	335
17.16.19.1 NFOCx_WKP (0x30000160/0x30010160) (x = 1/2).....	335
17.16.19.2 NFOCx_WKI (0x30000162/0x30010162) (x = 1/2).....	335
17.16.19.3 NFOCx_WMAX (0x30000164/0x30010164) (x = 1/2).....	336
17.16.19.4 NFOCx_WMIN (0x30000166/0x30010166) (x = 1/2).....	336
17.16.19.5 NFOCx_WEK (0x30000168/0x30010168) (x = 1/2).....	337
17.16.19.6 NFOCx_WEK1 (0x3000016A/0x3001016A) (x = 1/2)	337
17.16.19.7 NFOCx_WUK (0x3000016C/0x3001016C) (x = 1/2)	337
17.16.19.8 NFOCx_WREF (0x300001D0/0x300101D0) (x = 1/2).....	338
17.16.19.9 NFOCx_WFDB (0x300001D2/0x300101D2) (x = 1/2)	338
17.16.19.10 NFOCx_WUCPS (0x3000033C/0x3001033C) (x = 1/2).....	339

17.16.19.11 NFOCx_WUFIN (0x3000033E/0x3001033E) (x = 1/2)	339
17.16.20 爬坡寄存器	340
17.16.20.1 NFOCx_RATAR (0x300001E4/0x300101E4) (x = 1/2)	340
17.16.20.2 NFOCx_RAOUT (0x300001E6/0x300101E6) (x = 1/2)	340
17.16.20.3 NFOCx_RAINC (0x300001E8/0x300101E8) (x = 1/2)	341
17.16.20.4 NFOCx_RADEC (0x300001EA/0x300101EA) (x = 1/2)	341
17.16.21 电机保护寄存器	342
17.16.21.1 DRVx_PER (CSR:0x544/0x584) (x = 1/2)	342
17.16.21.2 DRVx_PTR (CSR:0x545/0x585) (x = 1/2)	343
17.16.21.3 DRVx_PSR (CSR:0x546/0x586) (x = 1/2)	344
17.16.21.4 NFOCx_IRLOW (0x30000010/0x30010010) (x = 1/2)	345
17.16.21.5 NFOCx_IRUPP (0x30000012/0x30010012) (x = 1/2)	346
17.16.21.6 NFOCx_OVP (0x30000014/0x30010014) (x = 1/2)	346
17.16.21.7 NFOCx_OVPARR (0x30000016/0x30010016) (x = 1/2)	347
17.16.21.8 NFOCx_OVPCNT (0x30000017/0x30010017) (x = 1/2)	347
17.16.21.9 NFOCx_UVP (0x30000018/0x30010018) (x = 1/2)	347
17.16.21.10 NFOCx_UVPARR (0x3000001A/0x3001001A) (x = 1/2)	348
17.16.21.11 NFOCx_UVPCNT (0x3000001B/0x3001001B) (x = 1/2)	348
17.16.21.12 NFOCx_SOCP (0x3000001C/0x3001001C) (x = 1/2)	349
17.16.21.13 NFOCx_SOCPARR (0x3000001E/0x3001001E) (x = 1/2)	349
17.16.21.14 NFOCx_SOCPCNT (0x3000001F/0x3001001F) (x = 1/2)	350
17.16.21.15 NFOCx_LKSMIN (0x30000020/0x30010020) (x = 1/2)	350
17.16.21.16 NFOCx_LKSMAX (0x30000022/0x30010022) (x = 1/2)	351
17.16.21.17 NFOCx_LOCKK (0x30000024/0x30010024) (x = 1/2)	351
17.16.21.18 NFOCx_LKARR (0x30000028/0x30010028) (x = 1/2)	352
17.16.21.19 NFOCx_LKCNT (0x3000002A/0x3001002A) (x = 1/2)	352
17.16.21.20 NFOCx_NCURR (0x3000002C/0x3001002C) (x = 1/2)	352
17.16.21.21 NFOCx_PLK (0x3000002E/0x3001002E) (x = 1/2)	353
17.16.22 CORDIC 寄存器	354
17.16.22.1 ME_COR (CSR:0x50C)	354
17.16.22.2 NFOCx_XI0 (0x30000030/0x30010030) (x=1/2)	356
17.16.22.3 NFOCx_YI0 (0x30000032/0x30010032) (x = 1/2)	356
17.16.22.4 NFOCx_THETA0 (0x30000036/0x30010036) (x = 1/2)	357
17.16.22.5 NFOCx_XO0 (0x30000038/0x30010038) (x = 1/2)	357
17.16.22.6 NFOCx_YO0 (0x3000003A/0x3001003A) (x = 1/2)	358
17.16.22.7 NFOCx_XI1 (0x3000003C/0x3001003C) (x = 1/2)	358
17.16.22.8 NFOCx_YI1 (0x3000003E/0x3001003E) (x = 1/2)	358
17.16.22.9 NFOCx_THETA1 (0x30000042/0x30010042) (x = 1/2)	359

17.16.22.10 NFOCx_XO1 (0x30000044/0x30010044) (x = 1/2)	359
17.16.22.11 NFOCx_YO1 (0x30000046/0x30010046) (x = 1/2)	360
17.16.22.12 NFOCx_XI2 (0x30000048/0x30010048) (x = 1/2)	360
17.16.22.13 NFOCx_YI2 (0x3000004A/0x3001004A) (x = 1/2)	360
17.16.22.14 NFOCx_US2 (0x3000004C/0x3001004C) (x = 1/2)	361
17.16.22.15 NFOCx_THETA2 (0x3000004E/0x3001004E) (x = 1/2)	361
17.16.22.16 NFOCx_XI3 (0x30000050/0x30010050) (x = 1/2)	362
17.16.22.17 NFOCx_YI3 (0x30000052/0x30010052) (x = 1/2)	362
17.16.22.18 NFOCx_US3 (0x30000054/0x30010054) (x = 1/2)	362
17.16.22.19 NFOCx_THETA3 (0x30000056/0x30010056) (x = 1/2)	363
17.16.23 角度融合寄存器	364
17.16.23.1 NFOCx_HTHETA (0x30000116/0x30010116)(x = 1/2)	364
17.16.23.2 NFOCx_ATHETA (0x300001E2/0x300101E2)(x = 1/2)	364
17.16.23.3 NFOCx_FUWEI (0x3000021A/0x3001021A)(x = 1/2)	365
17.16.23.4 NFOCx_FUMAX (0x300003E8/0x300103E8)(x = 1/2)	365
17.16.23.5 NFOCx_FUMIN (0x300003EA/0x300103EA)(x = 1/2)	366
17.16.24 电流环解耦寄存器	367
17.16.24.1 NFOCx_CVK1 (0x300003CC/0x300103CC)(x = 1/2)	367
17.16.24.2 NFOCx_CVK2 (0x300003E0/0x300103E0)(x = 1/2)	367
17.16.24.3 NFOCx_CVK3 (0x300003CE/0x300103CE)(x = 1/2)	367
17.16.24.4 NFOCx_CVDK4 (0x300003D0/0x300103D0)(x = 1/2)	368
17.16.24.5 NFOCx_CVDK5 (0x300003D4/0x300103D4)(x = 1/2)	368
17.16.24.6 NFOCx_CVQK4 (0x300003D2/0x300103D2)(x = 1/2)	369
17.16.24.7 NFOCx_CVQK5 (0x300003D6/0x300103D6)(x = 1/2)	369
17.16.24.8 NFOCx_CVKI2D (0x30000112/0x30010112)(x = 1/2)	369
17.16.24.9 NFOCx_CVKI2Q (0x30000132/0x30010132)(x = 1/2)	370
17.16.24.10 NFOCx_CVDULO (0x30000302/0x30010302)(x = 1/2)	370
17.16.24.11 NFOCx_CVQULO (0x3000032A/0x3001032A)(x = 1/2)	371
17.16.24.12 NFOCx_UDCMAX (0x300003E4/0x300103E4)(x = 1/2)	371
17.16.24.13 NFOCx_UDCMIN (0x300003E6/0x300103E6)(x = 1/2)	371
17.16.24.14 NFOCx_UDCLIM (0x300003E2/0x300103E2)(x = 1/2)	372
17.16.24.15 NFOCx_CVDUK (0x30000110/0x30010110)	372
17.16.24.16 NFOCx_CVKI2D (0x30000112/0x30010112)	373
17.16.24.17 NFOCx_CVQUK (0x30000130/0x30010130)	373
17.16.24.18 NFOCx_DCOM (0x300003D8/0x300103D8)(x = 1/2)	373
17.16.24.19 NFOCx_DAS (0x300003DA/0x300103DA)(x = 1/2)	374
17.16.24.20 NFOCx_QCOM (0x300003DC/0x300103DC)(x = 1/2)	374
17.16.24.21 NFOCx_QAS (0x300003DE/0x300103DE)(x = 1/2)	375

17.16.24.22 NFOCx_DUKF (0x300003F4/0x300103F4)(x = 1/2)	375
17.16.24.23 NFOCx_QUKF (0x300003F6/0x300103F6)(x = 1/2)	375
18 SysTick	377
18.1 SysTick 操作说明	377
18.2 SysTick 寄存器	377
18.2.1 SYST_ARR (CSR:0x440).....	377
18.2.2 SYST_SR (CSR:0x441)	377
19 时钟.....	379
19.1 时钟简介.....	379
19.2 时钟操作说明	379
19.2.1 内部快时钟操作说明.....	379
19.2.2 PLL 时钟操作说明	380
19.2.2.1 PLL 时钟来自内部快时钟	380
19.2.2.2 内部慢时钟操作说明.....	381
19.2.3 时钟寄存器.....	382
19.2.3.1 CCFG2 (CSR:0xFFD)	382
19.2.3.2 CCFG3 (CSR:0xFFC)	382
19.2.3.3 OSC_CR (CSR:0x463)	384
19.2.3.4 OSC_SR (CSR: 0x464)	384
19.3 时钟校准.....	385
19.3.1 时钟校准简介.....	385
19.3.2 时钟校准寄存器	385
19.3.2.1 CAL_CR (CSR:0x462).....	385
20 IWDT	387
20.1 IWDT 主要性能.....	387
20.2 IWDT 操作说明.....	387
20.3 硬件 IWDT	388
20.4 键寄存器访问保护	388
20.5 调试模式.....	388
20.6 IWDT 寄存器.....	388
20.6.1 IWDT_KR (CSR:0x480).....	388
20.6.2 IWDT_REL(CSR:0x481).....	389
21 WWDT	390

21.1 WWDT 简介	390
21.2 WWDT 主要特性.....	390
21.3 WWDT 功能描述.....	390
21.3.1 启动看门狗.....	391
21.3.2 控制递减计数器	391
21.4 WWDT 寄存器	392
21.4.1 WWDT_CR (CSR:0x4A0)	392
21.4.2 WWDT_CFR (CSR:0x4A1).....	393
21.4.3 WWDT_SR (CSR:0x4A2).....	394
22 RTC.....	395
22.1 RTC 基本功能框图	395
22.2 RTC 操作说明.....	395
22.3 RTC 寄存器.....	395
22.3.1 RTC_CR (CSR:0x460).....	395
22.3.2 RTC_DR (CSR:0x461)	396
22.3.3 CAL_CR (CSR:0x462).....	396
23 IO.....	398
23.1 IO 简介.....	398
23.2 IO 配置说明	398
23.3 IO 寄存器.....	398
23.3.1 PA_OE (CSR:0x001)	398
23.3.2 PB_OE (CSR:0x011)	399
23.3.3 PC_OE (CSR:0x021)	400
23.3.4 PD_OE (CSR:0x031).....	400
23.3.5 PB_AN (CSR:0x013).....	401
23.3.6 PC_AN (CSR:0x023).....	402
23.3.7 PD_AN (CSR:0x033).....	402
23.3.8 PA_PU (CSR:0x002)	403
23.3.9 PB_PU (CSR:0x012)	404
23.3.10 PC_PU (CSR:0x022).....	405
23.3.11 PD_PU (CSR:0x032).....	405
23.3.12 PA_PL (CSR:0x003)	406

23.3.13 PH_SEL (CSR:0x060).....	406
23.3.14 PA (CSR:0x000)	409
23.3.15 PB (CSR:0x010)	410
23.3.16 PC (CSR:0x020)	410
23.3.17 PD (CSR:0x030)	411
24 温度传感器.....	412
24.1 温度传感器寄存器	413
24.1.1 TSD_CR (CSR:0x630).....	413
24.1.2 TSEN_DR (CSR:0x631).....	414
25 ADC	415
25.1 ADC 简介.....	415
25.2 ADC 框图.....	415
25.3 ADC 操作说明.....	418
25.3.1 顺序采样模式.....	418
25.3.2 触发采样模式.....	418
25.3.2.1 ADC1 触发采样模式	418
25.3.2.2 ADC2 触发采样模式	419
25.3.3 输出数据格式.....	419
25.4 ADC 寄存器	420
25.4.1 ADCx_CR (CSR:0x660/0x670/0x680) (x = 1/2/3)	420
25.4.2 ADCx_MASK (CSR:0x661/0x671/0x681) (x = 1/2/3).....	421
25.4.3 ADC1_SCYC (CSR:0x662)	422
25.4.4 ADC2_SCYC (CSR:0x672)	422
25.4.5 ADC3_SCYC (CSR:0x682)	423
25.4.6 ADC1_DRx (0x40000040).....	424
25.4.7 ADC2_DRx (0x40000060).....	424
25.4.8 ADC3_DR2 (CSR: 0x685).....	425
26 DAC	426
26.1 DAC 简介.....	426
26.2 DAC0 功能说明	426
26.3 DAC1 功能说明	427
26.4 DAC3 功能说明	428

26.5 DAC4 功能说明	429
26.6 DAC 寄存器	430
26.6.1 DAC_CR (CSR:0x640)	430
26.6.2 DAC0_DR (CSR:0x641)	431
26.6.3 DAC1_DR (CSR:0x642)	431
26.6.4 DAC3_DR (CSR:0x644)	431
26.6.5 DAC4_DR (CSR:0x645)	432
27 DMA	433
27.1 DMA 简介.....	433
27.2 DMA 主要特性.....	433
27.3 DMA 操作说明	434
27.3.1 DMA 处理	434
27.3.2 DMA 仲裁	434
27.3.3 DMA 数据传输	434
27.3.3.1 可编程的数据量	434
27.3.3.2 指针增量	434
27.3.3.3 循环模式	435
27.3.3.4 数据大小端	435
27.4 DMA 寄存器	435
27.4.1 DMAx_CR (CSR:0x0A0/0x0B0/0x0C0/0x0D0/0x0E0/0x0F0)	435
27.4.2 DMAx_LEN (CSR:0x0A1/0x0B1/0x0C1/0x0D1/0x0E1/0x0F1).....	437
27.4.3 DMAx_BA (CSR:0x0A2/0x0B2/0x0C2/0x0D2/0x0E2/0x0F2)	438
28 VREF.....	439
28.1 VREF 模块的操作说明	439
28.2 VREF 寄存器	439
28.2.1 VREF_VHALF_CR (CSR:0x620)	439
29 VHALF	441
29.1 VHALF 模块的操作说明.....	441
29.2 VHALF 寄存器	441
30 运放.....	442
30.1 运放简介.....	442
30.2 运放操作说明	442

30.2.1 母线电流采样运放(AMP0)	442
30.2.1.1 AMP0 PGA 差分输入模式	442
30.2.2 母线电流采样运放(AMP4)	443
30.2.2.1 AMP4 PGA 差分输入模式	443
30.2.3 相电流运放(AMP1)	443
30.2.3.1 AMP1 PGA 差分输入模式	443
30.2.4 相电流运放(AMP2).....	444
30.2.4.1 AMP2 PGA 差分输入模式	444
30.2.5 相电流运放(AMP5)	444
30.2.5.1 AMP5 普通模式	444
30.2.5.2 AMP5 PGA 差分输入模式	445
30.2.5.3 AMP5 PGA 单端输入模式	445
30.2.6 相电流运放(AMP6)	446
30.2.6.1 AMP6 普通模式	446
30.2.6.2 AMP6 PGA 差分输入模式	446
30.2.6.3 AMP6 PGA 单端输入模式	447
30.3 运放寄存器	448
30.3.1 AMP_CR0 (CSR:0x621)	448
30.3.2 AMP_CR1 (CSR:0x622)	449
31 比较器	451
31.1 比较器操作说明	451
31.1.1 比较器 CMP3	451
31.1.1.1 主电机过流保护	453
31.1.1.2 主电机逐波限流	453
31.1.2 比较器 CMP9	455
31.1.2.1 从电机过流保护	457
31.1.2.2 从电机逐波限流	457
31.1.3 比较器 CMP4	458
31.1.4 比较器 CMP10	459
31.1.5 比较器 CMP11	459
31.1.6 比较器组 CMPG1.....	460
31.1.6.1 无内置电阻三比较器模式	460
31.1.6.2 内置电阻三比较器模式	461
31.1.6.3 差分三比较器模式	462
31.1.6.4 CMP0 模式	463

31.1.7 比较器组 CMPG2.....	463
31.1.7.1 无内置电阻三比较器模式.....	463
31.1.7.2 内置电阻三比较器模式.....	464
31.1.7.3 差分三比较器模式.....	465
31.1.7.4 双比较器模式.....	466
31.1.8 比较器采样.....	466
31.2 比较器寄存器.....	467
31.2.1 CMP_CR0 (CSR:0x600).....	467
31.2.2 CMP_CR1 (CSR:0x601).....	469
31.2.3 CMP_CR2 (CSR:0x602).....	470
31.2.4 CMP_CR3 (CSR:0x603).....	472
31.2.5 CMP_SR (CSR:0x604).....	473
31.2.6 CMP_IFR (CSR:0x605).....	474
31.2.7 CMP_SAMR (CSR:0x606).....	476
31.2.8 CMP_DBR (CSR:0x607).....	477
31.2.9 CMP_CR4 (CSR:0x608).....	479
31.2.10 CMP_CR5 (CSR:0x609).....	481
31.2.11 CMP_CR6 (CSR:0x60A).....	482
32 电源模块.....	485
32.1 LDO.....	485
32.1.1 FU7371Q LDO 模块简介.....	485
32.2 低压检测.....	486
32.2.1 低压检测简介.....	486
32.2.2 低压检测操作说明.....	486
32.3 低压检测寄存器.....	487
32.3.1 LVSR (CSR:0x408).....	487
33 Flash.....	489
33.1 Flash 简介.....	489
33.2 Flash 操作说明.....	489
33.3 ECC 校验.....	491
33.3.1 ECC 校验简介.....	491
33.4 Flash 寄存器.....	491

33.4.1 FLA_CR (CSR:0x4E1).....	491
33.4.2 FLA_KEY (CSR:0x4E0).....	493
33.4.3 FLA_ECC_CR (CSR:0x4F0).....	493
33.4.4 FLA_ECC_SR (CSR:0x4F1).....	494
34 CRC.....	496
34.1 CRC 功能框图.....	496
34.2 CRC16 多项式.....	496
34.3 CRC16 基本逻辑图.....	496
34.4 CRC 操作说明.....	497
34.4.1 计算单个字节的 CRC.....	497
34.4.2 批量计算 ROM 数据 CRC.....	497
34.4.3 DMA 计算 CRC.....	498
34.5 CRC 寄存器.....	499
34.5.1 CRC_DIN (CSR:0x1D8).....	499
34.5.2 CRC_CR (CSR:0x1D9).....	499
34.5.3 CRC_DR (CSR:0x1DA).....	500
34.5.4 CRC_BEG (CSR:0x1DB).....	501
34.5.5 CRC_CNT (CSR:0x1DC).....	501
35 休眠模式.....	502
35.1 休眠模式简介.....	502
35.2 休眠模式寄存器.....	503
35.2.1 PCON(CSR:0x4D2).....	503
36 代码保护.....	504
36.1 代码保护简介.....	504
36.2 代码保护操作说明.....	504
37 磁阻传感器.....	506
37.1 简介.....	506
37.2 使用说明.....	506
37.3 传感器功能框图.....	507
37.4 应用电路推荐.....	508
38 修订记录.....	509

符号及数字意义说明

- > 寄存器后的[]表示寄存器中的位。例: ABCD[XY]表示ABCD寄存器中的XY位
- > 寄存器名中的x表示类似寄存器。例: TIMx_CR0表示TIM3_CR0和TIM4_CR0
- > [m:n]表示位范围。例: [3:0]表示从bit3到bit0
- > 寄存器读写特性表示:
 - >> R: 只读
 - >> W: 只写
 - >> R/W: 可读可写
 - >> W0: 只可写 0
 - >> W1: 只可写 1
- > 默认值为 - 时, 表示该位为不定值或无效值
- > 对读出和写入代表不同意义的寄存器, 不可使用RMW指令
- > Q格式是一种使用定点数存储浮点数的方式。最高位为符号位, 数据低Q值的位数为数字小数部分分配的位数, 剩余位数为数字整数部分分配的位数。例: Q12格式, 15位为符号位, 14 ~ 12位为整数位, 11 ~ 0位为分数位。Q12格式数字的真实值为-8 ~ 7.9998(对应0x8000 ~ 0x7FFF)。

英文缩写及说明

ADC	Analog to Digital Convertor 模数转换器
AFO	All-order Flux Observer 全阶磁链观测器
AMR	Anisotropic Magneto Resistance 各向异性磁阻
AO	Adaptive Observer 自适应观测器
BEMF	Back Electromotive Force 反电动势
BLDC	Brushless Direct Current 无刷直流电机
CAN	Controller Area Network 控制器局域网
CFO	Common Flux Observer 一般磁链观测器
CORDIC	Coordinate Rotation Digital Computer 坐标旋转数字计算方法
CRC	Cyclic Redundancy Check 循环冗余校验功能
CSR	Control and Status Register RISC-V 架构定义的一些控制和状态寄存器
DAC	Digital to Analog Convertor 数模转换器
DMA	Direct Memory Access 不经过 CPU 直接与内存交换数据的方式
ECC	Error-Correcting Code 错误校正码
FG	Frequency Generator 频率发生器
FICE	Fortior Interactive Connectivity Establishment 峰昭专用交互式连接建立
FOC	Field Oriented Control 电机磁场定向控制法，也称矢量控制法
FOSC	Fast Oscillator 内部快时钟
GPIO	General Purpose Input Output 通用输出输入端口
I ² C	Inter Integrated Circuit 一种简单的双向二线制同步串行通信总线
IC	Integrated Circuit 集成电路
IDE	Integrated Development Environment 集成开发环境
LDO	Low Dropout Regulator 低压差稳压电源
LIN	Local Interconnect Network 一种低成本的串行通讯网络，用于实现汽车中的分布式系统
LPF	Low Pass Filter 低通滤波器
LVD	Low Voltage Detection 低电压检测
ME	Motor Engine 峰昭特有电机驱动协处理器
MSB	Most Significant Bit 最高有效位

MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor 金属氧化物半导体场效应晶体管
NC	Not Connected 不连接
NFO	Nonlinear Flux Observer 非线性磁链观测器
PGA	Programmable Gain Amplifier 可编程增益放大器
PI/PID	Proportional Integral/Proportional Integral Derivative 比例积分/比例积分微分控制器
PLL	Phase Locked Loop 锁相环
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor 永磁同步电机
PRAM	Program Random Access Memory 程序随机存取存储器
PWM	Pulse Width Modulation 脉冲宽度调制
QEP	Quadrature Encoder Pulse 正交编码器
RAM	Random Access Memory 随机存储器
RMW	Read Modified Write 读-修改-写指令
ROM	Read Only Memory 只读存储器
RSD	Rotating State Detection 顺逆风状态检测
RTC	Real Time Clock 实时时钟
SAR	Successive Approximation Register 逐次逼近寄存器
SCL	Serial Clock Line 串行时钟线
SDA	Serial Data Line 串行数据线
SMO	Sliding Mode Observer 滑模观测器
SOSC	Slow Oscillator 低速振荡器，此处特指内部慢时钟
SPI	Serial Peripheral Interface 串行通信接口
SRAM	Static Random Access Memory 静态随机存储器
SVPWM	Space Vector PWM 空间矢量脉冲宽度调制
TSD	Temperature Sensor Detect 温度传感器检测
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter 异步串行通信接口
WDT	Watch Dog Timer 看门狗定时器
WWDT	Window Watch Dog Timer 窗口看门狗
XRAM	External RAM 外部随机存储器
XSFR	External SFR 外部特殊功能寄存器

1 系统介绍

1.1 特性

- > 电源电压:
 - » VCC: 5V ~ 20V
 - » VDD5: 3V ~ 5.5V
- > 双核: RISC-V内核和ME
- > 集成180°角度磁传感器, 可感应X-Y平面磁场角度
- > 64kB Flash、带CRC校验功能、支持程序自烧录和代码保护功能
- > 12kB SRAM
- > 4kB PRAM, 此空间支持程序执行
- > ME: 包含FOC模块和CORDIC模块
- > 28个中断源, 可设为8个优先级
- > 32个GPIO
- > 定时器:
 - » Timer5/Timer6: PWM 输出、输入 PWM 的占空比和周期检测、输入设定 PWM 数的时间、顺逆风检测
 - » Timer3/Timer4/Timer7/Timer8: PWM 输出、输入 PWM 的占空比和周期检测。Timer4 支持 FG 输出模式, Timer3/Timer8 支持 96MHz 输入模式
 - » Systick 定时器
 - » RTC 定时器
- > 通信接口:
 - » 1 个 SPI (SPI1)
 - » 2 个 I²C
 - » 2 个 UART, 支持单线模式
 - » 1 个 LIN

- » 1个CAN, 支持CANFD
- » 6通道DMA, 支持I²C/SPI/UART/LIN/DataMonitor数据传输
- > 模拟外设:
 - » 12位ADC: 1 μ s转换, 可选择内部VREF、外部VREF作参考电压
 - » ADC1通道数: 10通道(其中AD1通道0、AD1通道1、AD1通道4为内置通道)
 - » ADC2通道数: 9通道(其中AD2通道4、AD2通道13为内置通道)
 - » ADC3通道数: 1通道
 - » 内置VREF参考, 可配置3V、4V、4.5V、VDD5
 - » 内置VHALF(VREF/2、1/4 VREF、1/8 VREF、25/64 VREF)参考输出
 - » 6路运算放大器, 可配置可编程增益放大器
 - » 7路模拟比较器
 - » DAC: 2路9位, 2路6位(DAC1、DAC3为内置DAC)
- > 驱动类型: 2*4N Pre-driver输出
- > FOC驱动支持单电阻、双电阻、三电阻电流采样
- > FOC驱动支持过调制
- > 时钟
 - » 内置24MHz高速RC振荡器
 - » 内置32.8kHz低速RC振荡器
 - » 支持外置12MHz晶体时钟
 - » IWDG
 - » WWDG
- > LVD
- > 温度传感器
- > 两线制FIC协议提供在线仿真功能

1.2 应用场景

应用领域: 两相混合式步进电机, 电缸, 3D 打印机

1.3 概述

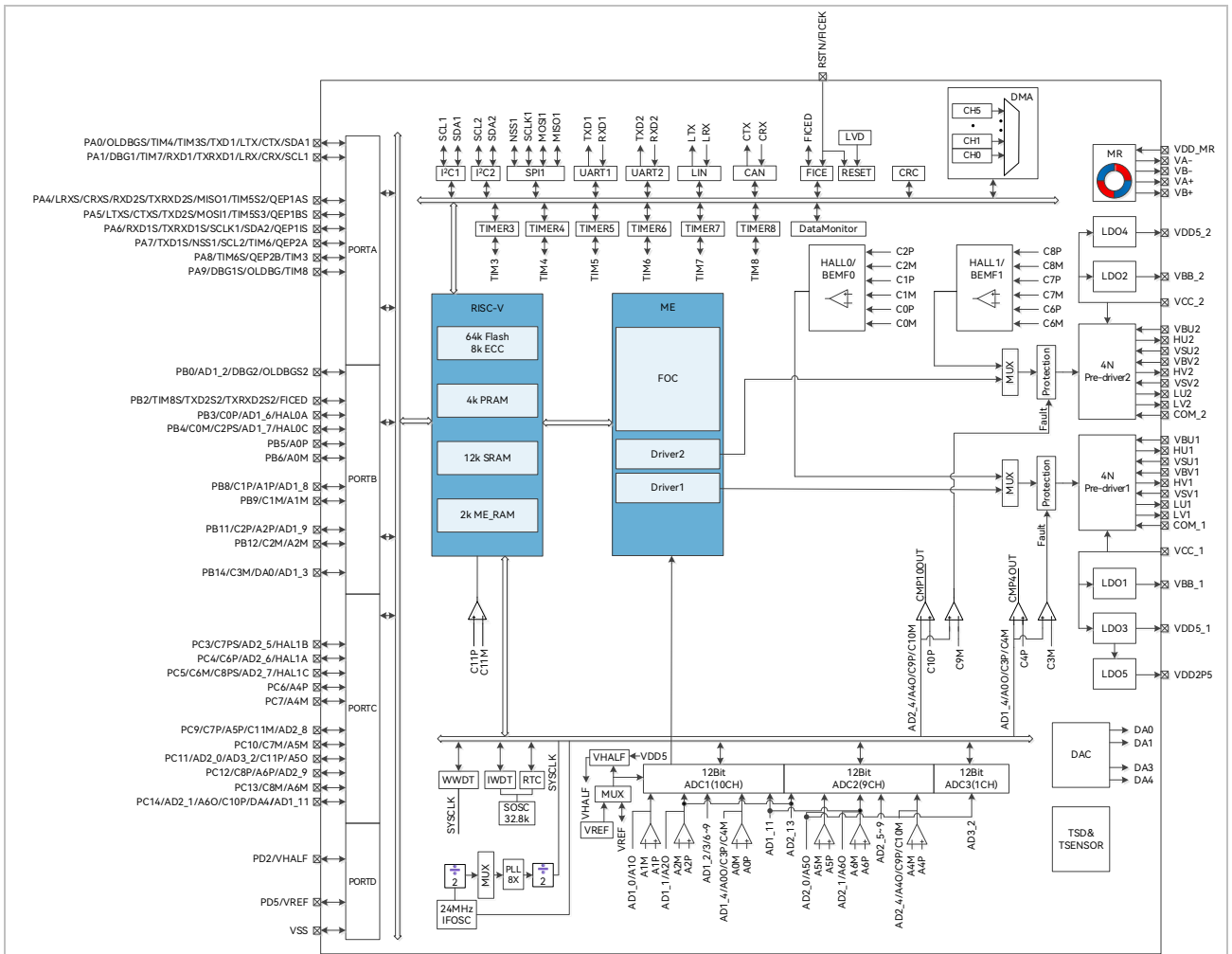
FU7371Q 是一款集成电机控制引擎(ME)和 RISC-V 内核的高性能电机驱动专用芯片，ME 集成了 FOC 和 CORDIC 硬件模块，可由硬件自动完成有感/无感 BLDC 电机/PMSM 的 FOC 驱动运算和控制；RISC-V 内核用于参数配置和日常事务处理，双核并行工作实现各种高性能电机控制，采用了各向异性磁阻(AMR)技术，相比霍尔效应的磁传感器有很多优势。芯片内部集成有高速运算放大器、比较器、Pre-driver、高速 ADC、CRC、SPI、I²C、UART、LIN、CANFD、DataMonitor、多种 Timer 等功能，内置 LDO，适用于 BLDC/PMSM 电机的 FOC 驱动控制。

以上为 FU7371Q 芯片功能的全面描述，具体的功能因引脚而异，请参考 2 引脚定义和 4 订购信息。

1.4 系统框图

1.4.1 FU7371Q 功能框图

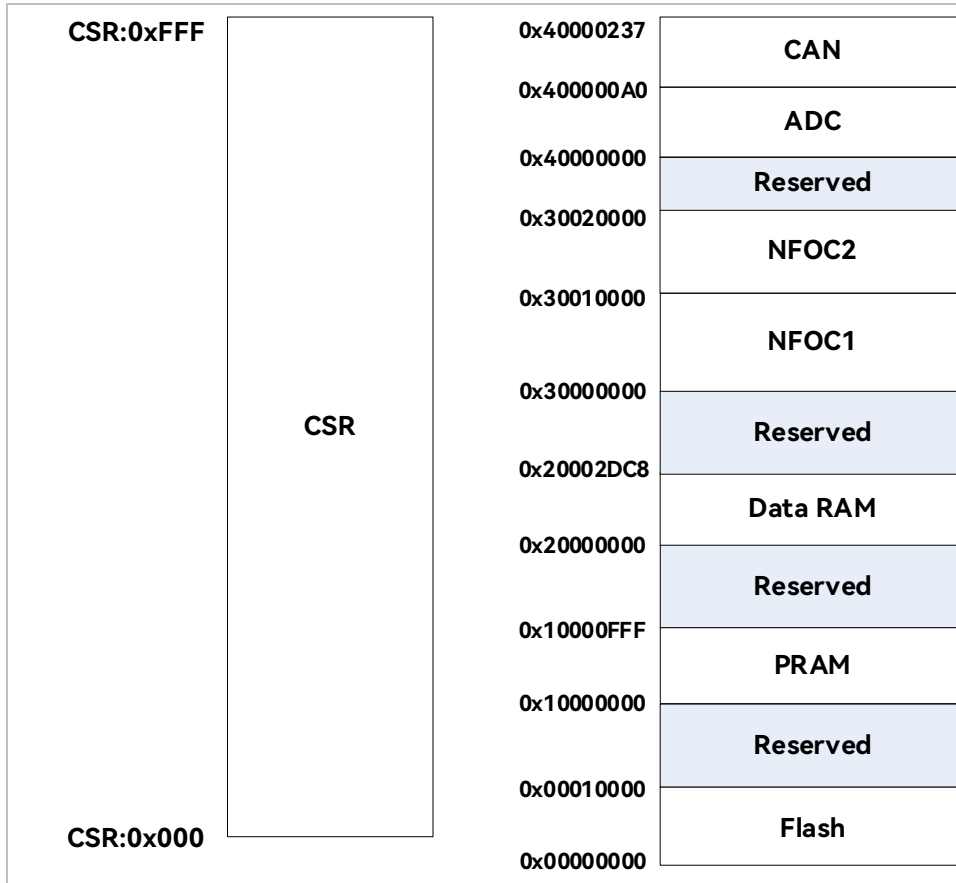
图 1-1 FU7371Q 功能框图



1.5 Memory 空间

内部存储空间分为指令空间(Program Memory)和数据空间(Data Memory)，两个空间独立编址空间。

图 1-2 Memory 空间分配



1.5.1 CSR Memory

CSR (Control and Status Registers, 控制和状态寄存器) 是 RISC-V 架构中的一组特殊寄存器，用于管理和控制处理器的状态和行为。CSR 寄存器提供了对处理器内部功能和外部系统的编程访问。在 RISC-V 架构中，可以使用 CSRRW、CSRRS、CSRRC、CSRRWI、CSRRSI、CSRRCI 这六条指令来读取、写入和修改 CSR 寄存器中的值。

1.5.2 Flash

指令空间可寻址范围(0x00000000 ~ 0x0000FFFF)。指令空间存储介质为 Flash，用于存储控制程序。其中，0x00000000 ~ 0x0000007F 是中断向量入口，用于保存各个中断子程序的起始地址。最后一个扇区(0x0000FF00-0x0000FFFF)内配置有芯片内部控制位。

1.5.3 外设空间

外设空间用于存放外设模块相关数据存储。其中包括 NFOC 数据存储空间（0x30000000 ~ 0x3001FFFF）、ADC1 转换结果存储空间(0x40000040 ~ 0x400005F)、ADC2 转换结果存储空间(0x40000060 ~ 0x400007F)、CAN 收发数据存储空间(0x400000A0 ~ 0x40000237)。

1.5.4 Data Memory

数据空间用于用户存放变量等相关数据存储。数据空间存储地址范围为 0x20000000 ~ 0x20002DC7，如图 1-2 所示。

1.5.5 映射表

1.5.5.1 CSR 地址映射表

表 1-1 CSR 地址映射

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x000	PA	PA_OE	PA_PU	PA_PL				
0x008	RSV							
0x010	PB	PB_OE	PB_PU	PB_AN				
0x018	RSV							
0x020	PC	PC_OE	PC_PU	PC_AN				
0x028	RSV							
0x030	PD	PD_OE	PD_PU	PD_AN				
0x038~ 0x058	RSV							
0x060	PH_SEL							
0x068~ 0x078	RSV							
0x080	CK_CR							
0x088~ 0x098	RSV							
0x0A0	DMA0_CR	DMA0_LEN	DMA0_BA					
0x0A8	RSV							
0x0B0	DMA1_CR	DMA1_LEN	DMA1_BA					
0x0B8	RSV							
0x0C0	DMA2_CR	DMA2_LEN	DMA2_BA					
0x0C8	RSV							
0x0D0	DMA3_CR	DMA3_LEN	DMA3_BA					
0x0D8	RSV							
0x0E0	DMA4_CR	DMA4_LEN	DMA4_BA					
0x0E8	RSV							
0x0F0	DMA5_CR	DMA5_LEN	DMA5_BA					
0x0F8~	RSV							

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x138	RSV							
0x140	UT1_CR0	UT1_CR1	UT1_DR	UT1_BAUD				
0x148	RSV							
0x150	UT2_CR0	UT2_CR1	UT2_DR	UT2_BAUD				
0x158	RSV							
0x160	I2C1_CR	I2C1_ID	I2C1_DR	I2C1_SR	I2C1_BAUD			
0x168	RSV							
0x170	I2C2_CR	I2C2_ID	I2C2_DR	I2C2_SR	I2C2_BAUD			
0x178	RSV							
0x180	SPI1_CR	SPI1_SR	SPI1_CLK	SPI1_DR				
0x188	RSV							
0x190	RSV							
0x198	RSV							
0x1A0	LIN_CR	LIN_SR	LIN_CSR	LIN_ID	LIN_SIZE	LIN_BAUD	LIN_CNT	LIN_IDLECNT
0x1A8~ 0x1B8	RSV							
0x1C0	CAN_CR0	CAN_CR1	CAN_STS	CAN_IER	CAN_IFR	CAN_TSPT	CAN_NBTR	CAN_DBTR
0x1C8	CAN_TDCR	CAN_ACR	CAN_AMR	CAN_ERR	CAN_ERLIM	CAN_TMSTA	CAN_TMID0	CAN_TMDT0
0x1D0	CAN_TMID1	CAN_TMDT1	CAN_TMID2	CAN_TMDT2				
0x1D8	CRC_DIN	CRC_CR	CRC_DR	CRC_BEG	CRC_CNT			
0x1E0~ 0x218	RSV							
0x220	TIM3_CR0	TIM3_CR1	TIM3_IER	TIM3_SR	TIM3_CNTR	TIM3_DR	TIM3_ARR	
0x228	RSV							
0x230	TIM4_CR0	TIM4_CR1	TIM4_IER	TIM4_SR	TIM4_CNTR	TIM4_DR	TIM4_ARR	
0x238	RSV							
0x240	TIM5_CR0	TIM5_CR1	TIM5_IER	TIM5_SR	TIM5_CNTR	TIM5_DR	TIM5_ARR	TIM5_QEP_MNUM
0x248	TIM5_QEP_TNUM	TIM5_QEP_TS_EMP	TIM5_QEP_CNTR	TIM5_QEP_ARR	TIM5_CR2			
0x250	TIM6_CR0	TIM6_CR1	TIM6_IER	TIM6_SR	TIM6_CNTR	TIM6_DR	TIM6_ARR	TIM6_QEP_MNUM
0x258	TIM6_QEP_TNUM	TIM6_QEP_TS_EMP	TIM6_QEP_CNTR	TIM6_QEP_ARR	TIM6_CR2			
0x260	TIM7_CR0	TIM7_CR1	TIM7_IER	TIM7_SR	TIM7_CNTR	TIM7_DR	TIM7_ARR	
0x268	RSV							
0x270	TIM8_CR0	TIM8_CR1	TIM8_IER	TIM8_SR	TIM8_CNTR	TIM8_DR	TIM8_ARR	
0x278 ~ 0x2F8	RSV							
0x300	MIE							
0x308~ 0x3F8	RSV							
0x400	PIE	EXTI0IE	EXTI1IE	EXTI2IE	EXTI0IF	EXTI1IF	EXTI2IF	EXTI_TCON
0x408	LVSR	IP0	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6
0x410	IP7	IP8	IP9	IP10	IP11	IP12	IP13	IP14
0x418	IP15	IP16	IP17	IP18	IP19	IP20	IP21	IP22
0x420	IP23	IP24	IP25	IP26	IP27	IP28	IP29	IP30

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x428	IP31							
0x430~ 0x438	RSV							
0x440	SYST_ARR	SYST_SR						
0x448~ 0x458	RSV							
0x460	RTC_CR	RTC_DR	CAL_CR	OSC_CR	OSC_SR			
0x468~ 0x478	RSV							
0x480	IWDT_KR	IWDT_REL						
0x488~ 0x498	RSV							
0x4A0	WWDT_CR	WWDT_CFR	WWDT_SR					
0x4A8~ 0x4C8	RSV							
0x4D0	RST_SR	RST_CR	PCON					
0x4D8	RSV							
0x4E0	FLA_KEY	FLA_CR						
0x4E8	RSV							
0x4F0	FLA_ECC_ CR	FLA_ECC_ SR						
0x4F8	RSV							
0x500	ME_CR							
0x508					ME_COR			
0x510~ 0x538	RSV							
0x540	DRV1_CR	DRV1_OUT	DRV1_IER	DRV1_IFR	DRV1_PER	DRV1_PTR	DRV1_PSR	DRV1_CMR
0x548	DRV1_FCR0	DRV1_FCR1	DRV1_FCR2	DRV1_FCR3	DRV1_FCR4	DRV1_FCR5	DRV1_FCR6	DRV1_FCR7
0x550	DRV1_ARR	DRV1_DR	DRV1_ COMR	DRV1_DTR	DRV1_ CMPU1	DRV1_ CMPD1	DRV1_ CMPU2	DRV1_ CMPD2
0x558	DRV1_ CMPU3	DRV1_ CMPD3	DRV1_CNTR	DRV1_TRG1	DRV1_TRG2	DRV1_COM UR1	DRV1_COM DR1	DRV1_ARRSH
0x560~ 0x578	RSV							
0x580	DRV2_CR	DRV2_OUT	DRV2_IER	DRV2_IFR	DRV2_PER	DRV2_PTR	DRV2_PSR	DRV2_CMR
0x588	DRV2_FCR0	DRV2_FCR1	DRV2_FCR2	DRV2_FCR3	DRV2_FCR4	DRV2_FCR5	DRV2_FCR6	DRV2_FCR7
0x590	DRV2_ARR	DRV2_DR	DRV2_ COMR	DRV2_DTR	DRV2_ CMPU1	DRV2_ CMPD1	DRV2_ CMPU2	DRV2_ CMPD2
0x598	DRV2_ CMPU3	DRV2_ CMPD3	DRV2_CNTR	DRV2_TRG1	DRV2_TRG2	DRV2_COM UR1	DRV2_COM DR1	DRV2_ARRSH
0x5A0~ 0x5B8	RSV							
0x5C0					UAC_CSO	IAC1_CSO	IAC2_CSO	
0x5C8			UDC_ARR		UDC_REF	UDC_UK	UDC_KP	UDC_KI
0x5D0	UDC_ UKMAX	UDC_ UKMIN	IAC1_REF	IAC1_UK	IAC1_KP	IAC1_KI	IAC1_UKMAX	IAC1_UKMIN
0x5D8	IAC2_REF	IAC2_UK	IAC2_KP	IAC2_KI	IAC2_UKMAX	IAC2_UKMIN		

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x5E0~ 0x5F8	RSV							
0x600	CMP_CR0	CMP_CR1	CMP_CR2	CMP_CR3	CMP_SR	CMP_IFR	CMP_SAMR	CMP_DBR
0x608	CMP_CR4	CMP_CR5	CMP_CR6					
0x610~ 0x618	RSV							
0x620	VREF_ VHALF_CR	AMP_CR0	AMP_CR1					
0x628	RSV							
0x630	TSD_CR	TSEN_DR						
0x638	RSV							
0x640	DAC_CR	DAC_DR0	DAC_DR1	DAC_DR2	DAC_DR3	DAC_DR4		
0x648~ 0x658	RSV							
0x660	ADC1_CR	ADC1_ MASK	ADC1_SCYC					
0x668	RSV							
0x670	ADC2_CR	ADC2_ MASK	ADC2_SCYC					
0x678	RSV							
0x680	ADC3_CR	ADC3_ MASK	ADC3_SCYC			ADC3_DR2		
0x688	RSV							
0x690~ 0x6F8	RSV							
0x700	BISS_CLK_ CNT	BISS_OVER TIME_CNT	BISS_DATA_ LEN	BISS_STATE	BISS_ SDATAL	BISS_ SDATAH		
0x708~ 0xFF0	RSV							
0xFF8					CCFG3	CCFG2		

1.5.5.2 外设地址映射表

1.5.5.2.1 ADC 地址映射表

表 1-2 ADC 地址映射

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x40000000~ 0x40000038	RSV							
0x40000040	ADC1_DR0	ADC1_DR1	ADC1_DR2	ADC1_DR3	ADC1_DR4		ADC1_DR6	ADC1_DR7
0x40000048	ADC1_DR8	ADC1_DR9		ADC1_DR11				
0x40000050~ 0x40000058	RSV							
0x40000060	ADC2_DR0	ADC2_DR1	ADC2_DR2	ADC2_DR3	ADC2_DR4	ADC2_DR5	ADC2_DR6	ADC2_DR7
0x40000068	ADC2_DR8	ADC2_DR9				ADC2_DR13		
0x40000070~ 0x40000098	RSV							

1.5.5.2.2 CAN 地址映射表

表 1-3 CAN 地址映射

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x400000A0		CAN_TX0DA0					CAN_TX0DA1	
0x400000A8		CAN_TX0DA2					CAN_TX0DA3	
0x400000B0		CAN_TX0DA4					CAN_TX0DA5	
0x400000B8		CAN_TX0DA6					CAN_TX0DA7	
0x400000C0		CAN_TX0DA8					CAN_TX0DA9	
0x400000C8		CAN_TX0DA10					CAN_TX0DA11	
0x400000D0		CAN_TX0DA12					CAN_TX0DA13	
0x400000D8		CAN_TX0DA14					CAN_TX0DA15	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x400000E0		CAN_TX1DA0					CAN_TX1DA1	
0x400000E8		CAN_TX1DA2					CAN_TX1DA3	
0x400000F0		CAN_TX1DA4					CAN_TX1DA5	
0x400000F8		CAN_TX1DA6					CAN_TX1DA7	
0x40000100		CAN_TX1DA8					CAN_TX1DA9	
0x40000108		CAN_TX1DA10					CAN_TX1DA11	
0x40000110		CAN_TX1DA12					CAN_TX1DA13	
0x40000118		CAN_TX1DA14					CAN_TX1DA15	
0x40000120		CAN_TX2DA0					CAN_TX2DA1	
0x40000128		CAN_TX2DA2					CAN_TX2DA3	
0x40000130		CAN_TX2DA4					CAN_TX2DA5	
0x40000138		CAN_TX2DA6					CAN_TX2DA7	
0x40000140		CAN_TX2DA8					CAN_TX2DA9	
0x40000148		CAN_TX2DA10					CAN_TX2DA11	
0x40000150		CAN_TX2DA12					CAN_TX2DA13	
0x40000158		CAN_TX2DA14					CAN_TX2DA15	
0x40000160		CAN_RX0ID					CAN_RX0TD	
0x40000168		CAN_RX0DA0					CAN_RX0DA1	
0x40000170		CAN_RX0DA2					CAN_RX0DA3	
0x40000178		CAN_RX0DA4					CAN_RX0DA5	
0x40000180		CAN_RX0DA6					CAN_RX0DA7	
0x40000188		CAN_RX0DA8					CAN_RX0DA9	
0x40000190		CAN_RX0DA10					CAN_RX0DA11	
0x40000198		CAN_RX0DA12					CAN_RX0DA13	
0x400001A0		CAN_RX0DA14					CAN_RX0DA15	
0x400001A8		CAN_RX1ID					CAN_RX1TD	
0x400001B0		CAN_RX1DA0					CAN_RX1DA1	
0x400001B8		CAN_RX1DA2					CAN_RX1DA3	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x400001C0		CAN_RX1DA4				CAN_RX1DA5		
0x400001C8		CAN_RX1DA6				CAN_RX1DA7		
0x400001D0		CAN_RX1DA8				CAN_RX1DA9		
0x400001D8		CAN_RX1DA10				CAN_RX1DA11		
0x400001E0		CAN_RX1DA12				CAN_RX1DA13		
0x400001E8		CAN_RX1DA14				CAN_RX1DA15		
0x400001F0		CAN_RX2ID				CAN_RX2TD		
0x400001F8		CAN_RX2DA0				CAN_RX2DA1		
0x40000200		CAN_RX2DA2				CAN_RX2DA3		
0x40000208		CAN_RX2DA4				CAN_RX2DA5		
0x40000210		CAN_RX2DA6				CAN_RX2DA7		
0x40000218		CAN_RX2DA8				CAN_RX2DA9		
0x40000220		CAN_RX2DA10				CAN_RX2DA11		
0x40000228		CAN_RX2DA12				CAN_RX2DA13		
0x40000230		CAN_RX2DA14				CAN_RX2DA15		

1.5.5.2.3 NFOC1 地址映射表

表 1-4 NFOC1 地址映射

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30000000	NFOC1_UDC		NFOC1_UDCK				NFOC1_UDCFLT	
0x30000008	NFOC1_IAREF		NFOC1_IBREF		NFOC1_ICREF		NFOC1_ITREF	
0x30000010	NFOC1_IRLOW		NFOC1_IRUPP		NFOC1_OVP		NFOC1_OVPARR	NFOC1_OVPCNT
0x30000018	NFOC1_UVP		NFOC1_UVPARR	NFOC1_UVPCNT	NFOC1_SOCP		NFOC1_SOCPARR	NFOC1_SOCPCNT
0x30000020	NFOC1_LKSMIN		NFOC1_LKSMAX		NFOC1_LOCKK		RSV	
0x30000028	NFOC1_LKARR		NFOC1_LKCNT		NFOC1_NCURR		NFOC1_PLK	
0x30000030	NFOC1_XI0		NFOC1_YI0		RSV		NFOC1_THETA0	
0x30000038	NFOC1_XO0		NFOC1_YO0		NFOC1_XI1		NFOC1_YI1	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30000040	RSV		NFOC1_THETA1		NFOC1_XO1		NFOC1_YO1	
0x30000048	NFOC1_XI2		NFOC1_YI2		NFOC1_US2		NFOC1_THETA2	
0x30000050	NFOC1_XI3		NFOC1_YI3		NFOC1_US3		NFOC1_THETA3	
0x30000058 ~ 0x30000098	RSV							
0x300000A0	RSV				NFOC1_UDCALP		NFOC1_UDCBET	
0x300000A8 ~ 0x300000B0	RSV							
0x300000B8	RSV				NFOC1_FEK7		NFOC1_FEK8	
0x300000C0	NFOC1_AFKP		NFOC1_AFKI		NFOC1_AFMAX		NFOC1_AFMIN	
0x300000C8	NFOC1_AFEK		NFOC1_AFEK1		NFOC1_AFUK			
0x300000D0	RSV				NFOC1_ITFLT			
0x300000D8	NFOC1_ITRIP		NFOC1_POWER		NFOC1_US		NFOC1_UTHETA	
0x300000E0	NFOC1_HKP		NFOC1_HKI		NFOC1_HMAX		NFOC1_HMIN	
0x300000E8	NFOC1_HEK		NFOC1_HEK1		NFOC1_HUK			
0x300000F0	RSV				NFOC1_ID0		NFOC1_IQ0	
0x300000F8	RSV				NFOC1_HALPHA		NFOC1_HBETA	
0x30000100	NFOC1_DKP		NFOC1_DKI		NFOC1_DMAX		NFOC1_DMIN	
0x30000108	NFOC1_DEK		NFOC1_DEK1		NFOC1_DUK			
0x30000110	NFOC1_CVDUK		NFOC1_CVKI2D		NFOC1_HS		NFOC1_HTHETA	
0x30000118	NFOC1_UALORG		NFOC1_UBEORG		RSV		NFOC1_HTCOM	
0x30000120	NFOC1_QKP		NFOC1_QKI		NFOC1_QMAX		NFOC1_QMIN	
0x30000128	NFOC1_QEK		NFOC1_QEK1		NFOC1_QUK			
0x30000130	NFOC1_CVQUK		NFOC1_CVKI2Q		NFOC1_IALPHA		NFOC1_IBETA	
0x30000138	NFOC1_ID		NFOC1_IQ		NFOC1_IDFLT			
0x30000140	NFOC1_EKP		NFOC1_EKI		NFOC1_EMAX		NFOC1_EMIN	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30000148	NFOC1_EEK		NFOC1_EEK1		NFOC1_EUK			
0x30000150	RSV				NFOC1_IQFLT			
0x30000158	NFOC1_THETA				NFOC1_EALPHA			
					NFOC1_AFRPAH			
0x30000160	NFOC1_WKP		NFOC1_WK1		NFOC1_WMAX		NFOC1_WMIN	
0x30000168	NFOC1_WEK		NFOC1_WEK1		NFOC1_WUK			
0x30000170	RSV				NFOC1_AFRPBH			
					NFOC1_EBETA			
0x30000178	NFOC1_ETHETA				NFOC1_ZALORG		NFOC1_ZBEORG	
					NFOC1_AFKDF		NFOC1_AFKAF	
0x30000180	NFOC1_FWKP		NFOC1_FWK1		NFOC1_FWMAX		NFOC1_FWMIN	
0x30000188	NFOC1_FWEK		NFOC1_FWEK1		NFOC1_FWUK			
0x30000190	RSV		NFOC1_KUSF		NFOC1_OMEACC			
0x30000198	NFOC1_OMEEND				NFOC1_OMEMIN		NFOC1_FTCK	
0x300001A0	NFOC1_FBASE		NFOC1_OMEMI2		NFOC1_THECOM		NFOC1_FTCOM	
0x300001A8	NFOC1_EK1		NFOC1_EK2		NFOC1_EK3		NFOC1_EK4	
0x300001B0	NFOC1_FEK5				NFOC1_MERRRE		NFOC1_TDTC	
	NFOC1_KSLIDE		NFOC1_MAXERR		NFOC1_FEK6			
0x300001B8	NFOC1_IDREF		NFOC1_IQREF		NFOC1_I1		NFOC1_I2	
0x300001C0	NFOC1_IA		NFOC1_IB		NFOC1_IC		NFOC1_ICMAX	
0x300001C8	NFOC1_IAMAX		NFOC1_IBMAX		NFOC1_UDCPS		NFOC1_UQCPS	
0x300001D0	NFOC1_WREF		NFOC1_WFDB		NFOC1_ITK		NFOC1_POWK1	NFOC1_POWK2
0x300001D8	NFOC1_FGBASE		RSV		NFOC1_UALCPS		NFOC1_UBECPS	
0x300001E0	NFOC1_EMF		NFOC1_ATHETA		NFOC1_RATAR		NFOC1_RAOUT	
0x300001E8	NFOC1_RAINC		NFOC1_RADEC		NFOC1_LK1		NFOC1_LK2	
0x300001F0	NFOC1_LK3		NFOC1_LK4		NFOC1_LK5		NFOC1_LK6	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x300001F8	NFOC1_LED		NFOC1_LEQ		NFOC1_LOME			
0x30000200	RSV				NFOC1_OMEGA		RSV	
0x30000208	NFOC1_IESTA		NFOC1_IESTB		NFOC1_OMEFLT			
0x30000210	NFOC1_OMEFL2				NFOC1_ZALPHA		NFOC1_ZBETA	
0x30000218	NFOC1_KLPF		NFOC1_FUWEI		NFOC1_UDFIN		NFOC1_UQFIN	
0x30000220	NFOC1_UALPHA		NFOC1_UBETA		RSV			
0x30000228 ~ 0x30000230	RSV							
0x30000238	NFOC1_UIK0		NFOC1_UIK1		NFOC1_UIK2		NFOC1_UIK3	
0x30000240	NFOC1_UITC0		NFOC1_UIUS0		NFOC1_UITC1		NFOC1_UIUS1	
0x30000248	NFOC1_UITC2		NFOC1_UIUS2		NFOC1_UITC3		NFOC1_UIUS3	
0x30000250	NFOC1_TRG1		NFOC1_TRG2		NFOC1_AFTHE			
0x30000258	NFOC1_OTHETA				NFOC1_USOMEK		NFOC1_UA	
0x30000260	NFOC1_UB		NFOC1_UC		NFOC1_USK		NFOC1_USOUS	
0x30000268	NFOC1_FTGPS		NFOC1_FTHETA		RSV			
0x30000270	RSV				NFOC1_FWREF		NFOC1_CMRSH	
0x30000278	NFOC1_TS		NFOC1_NTS		NFOC1_TDLY		NFOC1_TDLYD	
0x30000280	NFOC1_ARR		RSV		NFOC1_IDK		NFOC1_IQK	
0x30000288	NFOC1_OMEGAK		NFOC1_OMEK2		NFOC1_DELOTHE			
0x30000290	NFOC1_DELETHE				NFOC1_UDCD		NFOC1_UDCQ	
0x30000298 ~ 0x300002F8	RSV							
0x30000300	RSV		NFOC1_CVDULO		RSV			
0x30000308 ~ 0x30000320	RSV							
0x30000328	RSV		NFOC1_CVQULO		RSV			
0x30000330	RSV							

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30000338	RSV			NFOC1_WUCPS		NFOC1_WUFIN		
0x30000340 ~ 0x30000368	RSV							
0x30000370	NFOC1_UDK		NFOC1_UQK		NFOC1_UDFLT			
0x30000378	NFOC1_UQFLT			NFOC1_FWIDR		NFOC1_OSCNT		
0x30000380	NFOC1_OSSUM			RSV				
0x30000388	RSV			NFOC1_OMUNIT		NFOC1_CSAM		
0x30000390 ~ 0x300003A8	RSV					NFOC1_DLYCNT		
0x300003B0	RSV					NFOC1_IDRLIM		
0x300003B8 ~ 0x300003C0	RSV							
0x300003C8	RSV			NFOC1_CVK1		NFOC1_CVK3		
0x300003D0	NFOC1_CVDK4		NFOC1_CVQK4		NFOC1_CVDK5		NFOC1_CVQK5	
0x300003D8	NFOC1_DCOM		NFOC1_DAS		NFOC1_QCOM		NFOC1_QAS	
0x300003E0	NFOC1_CVK2		NFOC1_UDCLIM		NFOC1_UDCMAX		NFOC1_UDCMIN	
0x300003E8	NFOC1_FUMAX		NFOC1_FUMIN		NFOC1_IS		NFOC1_ITHETA	
0x300003F0	NFOC1_USFLT			NFOC1_DUKF		NFOC1_QUKF		
0x300003F8	RSV			NFOC1_UDCPS1		NFOC1_UQCPS1		

1.5.5.2.4 NFOC2 地址映射表

表 1-5 NFOC2 地址映射

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30010000	NFOC2_UDC		NFOC2_UDCK		NFOC2_UDCFLT			
0x30010008	NFOC2_IAREF		NFOC2_IBREF		NFOC2_ICREF		NFOC2_ITREF	
0x30010010	NFOC2_IRLOW		NFOC2_IRUPP		NFOC2_OVP		NFOC2_OVPARR	NFOC2_OVPCNT

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30010018	NFOC2_UVP		NFOC2_UVPARR	NFOC2_UVPCNT	NFOC2_SOCP		NFOC2_SOCPARR	NFOC2_SOCPCNT
0x30010020	NFOC2_LKSMIN		NFOC2_LKSMAX		NFOC2_LOCKK		RSV	
0x30010028	NFOC2_LKARR		NFOC2_LKCNT		NFOC2_NCURR		NFOC2_PLK	
0x30010030	NFOC2_XI0		NFOC2_YI0		RSV		NFOC2_THETA0	
0x30010038	NFOC2_XO0		NFOC2_YO0		NFOC2_XI1		NFOC2_YI1	
0x30010040	RSV		NFOC2_THETA1		NFOC2_XO1		NFOC2_YO1	
0x30010048	NFOC2_XI2		NFOC2_YI2		NFOC2_US2		NFOC2_THETA2	
0x30010050	NFOC2_XI3		NFOC2_YI3		NFOC2_US3		NFOC2_THETA3	
0x30010058 ~ 0x30010098	RSV							
0x300100A0	RSV				NFOC2_UDCALP		NFOC2_UDCBET	
0x300100A8 ~ 0x300100B0	RSV							
0x300100B8	RSV				NFOC2_FEK7		NFOC2_FEK8	
0x300100C0	NFOC2_AFKP		NFOC2_AFKI		NFOC2_AFMAX		NFOC2_AFMIN	
0x300100C8	NFOC2_AFEK		NFOC2_AFEK1		NFOC2_AFUK			
0x300100D0	RSV				NFOC2_ITFLT			
0x300100D8	NFOC2_ITRIP		NFOC2_POWER		NFOC2_US		NFOC2_UTHETA	
0x300100E0	NFOC2_HKP		NFOC2_HKI		NFOC2_HMAX		NFOC2_HMIN	
0x300100E8	NFOC2_HEK		NFOC2_HEK1		NFOC2_HUK			
0x300100F0	RSV				NFOC2_ID0		NFOC2_IQ0	
0x300100F8	RSV				NFOC2_HALPHA		NFOC2_HBETA	
0x30010100	NFOC2_DKP		NFOC2_DKI		NFOC2_DMAX		NFOC2_DMIN	
0x30010108	NFOC2_DEK		NFOC2_DEK1		NFOC2_DUK			
0x30010110	NFOC2_CVDUK		NFOC2_CVKI2D		NFOC2_HS		NFOC2_HTHETA	
0x30010118	NFOC2_UALORG		NFOC2_UBEORG		RSV		NFOC2_HTCOM	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x30010120	NFOC2_QKP		NFOC2_QKI		NFOC2_QMAX		NFOC2_QMIN	
0x30010128	NFOC2_QEK		NFOC2_QEK1		NFOC2_QUK			
0x30010130	NFOC2_CVQUK		NFOC2_CVKI2Q		NFOC2_IALPHA		NFOC2_IBETA	
0x30010138	NFOC2_ID		NFOC2_IQ		NFOC2_IDFLT			
0x30010140	NFOC2_EKP		NFOC2_EKI		NFOC2_EMAX		NFOC2_EMIN	
0x30010148	NFOC2_EEK		NFOC2_EEK1		NFOC2_EUK			
0x30010150	RSV				NFOC2_IQFLT			
0x30010158	NFOC2_THETA				NFOC2_EALPHA			
					NFOC2_AFRPAH			
0x30010160	NFOC2_WKP		NFOC2_WKI		NFOC2_WMAX		NFOC2_WMIN	
0x30010168	NFOC2_WEK		NFOC2_WEK1		NFOC2_WUK			
0x30010170	RSV				NFOC2_AFRPBH			
					NFOC2_EBETA			
0x30010178	NFOC2_ETHETA				NFOC2_ZALORG		NFOC2_ZBEORG	
					NFOC2_AFKDF		NFOC2_AFKAF	
0x30010180	NFOC2_FWKP		NFOC2_FWKI		NFOC2_FWMAX		NFOC2_FWMIN	
0x30010188	NFOC2_FWEK		NFOC2_FWEK1		NFOC2_FWUK			
0x30010190	RSV		NFOC2_KUSF		NFOC2_OMEACC			
0x30010198	NFOC2_OMEEND				NFOC2_OMEMIN		NFOC2_FTCK	
0x300101A0	NFOC2_FBASE		NFOC2_OMEMI2		NFOC2_THECOM		NFOC2_FTCOM	
0x300101A8	NFOC2_EK1		NFOC2_EK2		NFOC2_EK3		NFOC2_EK4	
0x300101B0	NFOC2_FEK5				NFOC2_MERRRE		NFOC2_TDTC	
	NFOC2_KSLIDE		NFOC2_MAXERR		NFOC2_FEK6			
0x300101B8	NFOC2_IDREF		NFOC2_IQREF		NFOC2_I1		NFOC2_I2	
0x300101C0	NFOC2_IA		NFOC2_IB		NFOC2_IC		NFOC2_ICMAX	
0x300101C8	NFOC2_IAMAX		NFOC2_IBMAX		NFOC2_UDCPS		NFOC2_UQCPS	

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x300101D0	NFOC2_WREF		NFOC2_WFDB		NFOC2_ITK		NFOC2_POWK1	NFOC2_POWK2
0x300101D8	NFOC2_FGBASE		RSV		NFOC2_UALCPS		NFOC2_UBECPS	
0x300101E0	NFOC2_EMF		NFOC2_ATHETA		NFOC2_RATAR		NFOC2_RAOUT	
0x300101E8	NFOC2_RAINC		NFOC2_RADEC		NFOC2_LK1		NFOC2_LK2	
0x300101F0	NFOC2_LK3		NFOC2_LK4		NFOC2_LK5		NFOC2_LK6	
0x300101F8	NFOC2_LED		NFOC2_LEQ		NFOC2_LOME			
0x30010200	RSV				NFOC2_OMEGA		RSV	
0x30010208	NFOC2_IESTA		NFOC2_IESTB		NFOC2_OMEFLT			
0x30010210	NFOC2_OMEFL2				NFOC2_ZALPHA		NFOC2_ZBETA	
0x30010218	NFOC2_KLPF		NFOC2_FUWEI		NFOC2_UDFIN		NFOC2_UQFIN	
0x30010220	NFOC2_UALPHA		NFOC2_UBETA		RSV			
0x30010228 ~ 0x30010230	RSV							
0x30010238	NFOC2_UIK0		NFOC2_UIK1		NFOC2_UIK2		NFOC2_UIK3	
0x30010240	NFOC2_UITC0		NFOC2_UIUS0		NFOC2_UITC1		NFOC2_UIUS1	
0x30010248	NFOC2_UITC2		NFOC2_UIUS2		NFOC2_UITC3		NFOC2_UIUS3	
0x30010250	NFOC2_TRG1		NFOC2_TRG2		NFOC2_AFTHE			
0x30010258	NFOC2_OTHETA				NFOC2_USOMEK		NFOC2_UA	
0x30010260	NFOC2_UB		NFOC2_UC		NFOC2_USK		NFOC2_USOUS	
0x30010268	NFOC2_FTCPS		NFOC2_FTHETA		RSV			
0x30010270	RSV				NFOC2_FWREF		NFOC2_CMRSH	
0x30010278	NFOC2_TS		NFOC2_NTS		NFOC2_TDLY		NFOC2_TDLYD	
0x30010280	NFOC2_ARR		RSV		NFOC2_IDK		NFOC2_IQK	
0x30010288	NFOC2_OMEGAK		NFOC2_OMEK2		NFOC2_DELOTHE			
0x30010290	NFOC2_DELETHE				NFOC2_UDCD		NFOC2_UDCQ	
0x30010298 ~	RSV							

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x300102F8								
0x30010300	RSV		NFOC2_CVDULO		RSV			
0x30010308 ~ 0x30010320					RSV			
0x30010328	RSV		NFOC2_CVQULO		RSV			
0x30010330					RSV			
0x30010338	RSV				NFOC2_WUCPS		NFOC2_WUFIN	
0x30010340 ~ 0x30010368					RSV			
0x30010370	NFOC2_UDK		NFOC2_UQK		NFOC2_UDFLT			
0x30010378	NFOC2_UQFLT				NFOC2_FWIDR		NFOC2_OSCNT	
0x30010380	NFOC2_OSSUM				RSV			
0x30010388	RSV				NFOC2_OMUNIT		NFOC2_CSAM	
0x30010390 ~ 0x300103A8	RSV				NFOC2_DLYCNT			
0x300103B0	RSV				NFOC2_IDRLIM			
0x300103B8 ~ 0x300103C0					RSV			
0x300103C8	RSV				NFOC2_CVK1		NFOC2_CVK3	
0x300103D0	NFOC2_CVDK4		NFOC2_CVQK4		NFOC2_CVDK5		NFOC2_CVQK5	
0x300103D8	NFOC2_DCOM		NFOC2_DAS		NFOC2_QCOM		NFOC2_QAS	
0x300103E0	NFOC2_CVK2		NFOC2_UDCLIM		NFOC2_UDCMAX		NFOC2_UDCMIN	
0x300103E8	NFOC2_FUMAX		NFOC2_FUMIN		NFOC2_IS		NFOC2_ITHETA	
0x300103F0	NFOC2_USFLT				NFOC2_DUKF		NFOC2_QUKF	
0x300103F8	RSV				NFOC2_UDCPS1		NFOC2_UQCPS1	

2 引脚定义

IO 类型说明:

- > DI = 数字输入
- > DO = 数字输出
- > DB = 数字双向
- > AI = 模拟输入
- > AO = 模拟输出
- > AB = 模拟双向
- > P = 电源

2.1 FU7371Q QFN64 引脚列表

表 2-1 FU7371Q QFN64 引脚列表

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
LU2	1	DO	4N Pre-driver2 U 相下桥输出
LV2	2	DO	4N Pre-driver2 V 相下桥输出
VSU2	3	P	4N Pre-driver2 U 相输入，用于 U 相上桥自举的地端参考
HU2	4	DO	4N Pre-driver2 U 相上桥输出
VBU2	5	P	4N Pre-driver2 U 相上桥自举电源
VSV2	6	P	4N Pre-driver2 V 相输入，用于 V 相上桥自举的地端参考
HV2	7	DO	4N Pre-driver2 V 相上桥输出
VBV2	8	P	4N Pre-driver2 V 相上桥自举电源
VCC_2	9	P	4N Pre-driver2 电源输入，外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容
COM_2	10	P	4N Pre-driver2 地
VDD5_2	11	P	内部 5V LDO 输出电源，外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容
PA4/ LRXS/ CRXS/ RXD2S/	12	DB/ DI/ DI/ DI/	GPIO 功能转移后 LIN RXD 输入 功能转移后 CAN RXD 输入 功能转移后 UART2 RXD 输入

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
TXRXD2S/ MISO1/ TIM5S2/ QEP1AS		DB/ DI/ DB/ DB	功能转移后 UART2 单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 SPI1 主机输入从机输出 第二次功能转移后 Timer5 输入或输出 功能转移后 QEP1 A 输入
PA5/ LTXS/ CTXS/ TXD2S/ MOSI1/ TIM5S3/ QEP1BS	13	DB/ DO/ DO/ DO/ DB/ DB/ DB	GPIO 功能转移后 LIN TXD 输出 功能转移后 CAN TXD 输出 功能转移后 UART2 TXD 输出 SPI1 主机输出从机输入 第三次功能转移后 Timer5 输入或输出 功能转移后 QEP1 B 输入
PA6/ RXD1S/ TXRXD1S/ SCLK1/ SDA2/ QEP1IS	14	DB/ DI/ DB/ DI/ DB/ DB	GPIO 功能转移后 UART1 RXD 输入 功能转移后 UART1 单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 SPI1 时钟 I ² C2 数据线 功能转移后 QEP1 中断输入
PA7/ TXD1S/ NSS1/ SCL2/ TIM6/ QEP2A	15	DB/ DO/ DB/ DB/ DB/ DB	GPIO 功能转移后 UART1 TXD 输出 SPI1 片选 I ² C2 时钟线 Timer6 输入或输出 QEP2 A 输入
PA8/ TIM6S/ QEP2B/ TIM3	16	DB/ DB/ DB/ DB	GPIO 功能转移后 Timer6 输入或输出 QEP2 B 输入 Timer3 输入或输出
PA9/ DBG1S/ OLDBG/ TIM8	17	DB/ DO/ DO/ DB	GPIO Debug1 端口功能转移 DataMonitor 端口 Timer8 输入或输出
VBB_1	18	P	4N Pre-driver1 内部 12V LDO 输出电源, 外接 1μF ~ 4.7μF 电容
LU1	19	DO	4N Pre-driver1 U 相下桥输出
LV1	20	DO	4N Pre-driver1 V 相下桥输出
VSU1	21	P	4N Pre-driver1 U 相输入, 用于 U 相上桥自举的地端参考

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
HU1	22	DO	4N Pre-driver1 U 相上桥输出
VBU1	23	P	4N Pre-driver1 U 相上桥自举电源
VSV1	24	P	4N Pre-driver1 V 相输入，用于 V 相上桥自举的地端参考
HV1	25	DO	4N Pre-driver1 V 相上桥输出
VBV1	26	P	4N Pre-driver1 V 相上桥自举电源
VCC_1	27	P	4N Pre-driver1 电源输入，外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容
COM_1	28	P	4N Pre-driver1 地
VDD5_1	29	P	内部 5V LDO 输出电源，外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容
RSTN/ FICEK	30	DI/ DI	外部复位输入，内置上拉电阻 FICE 调试接口时钟端
VSS	31	P	地
PB2/ TIM8S/ TXD2S2/ TXRXD2S2/ FICED	32	DB/ DB/ DO/ DB/ DB	GPIO 功能转移后 Timer8 输入或输出 第二次功能转移后 UART2 TXD 输出 第二次功能转移后 UART2 单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 FICE 调试接口数据端
PB0/ AD1_2/ DBG2/ OLDBGS2	33	DB/ AI/ DO/ DO	GPIO ADC1 通道 2 输入，母线电压分压采样输入 Debug2 端口输出 第二次功能转移后 DataMonitor 端口
PB3/ C0P/ AD1_6/ HAL0A	34	DB/ AI/ AI/ DI	GPIO CMP0 正输入端 ADC1 通道 6 输入 Hall0 A 输入
PB4/ C0M/ C2PS/ AD1_7/ HAL0C	35	DB/ AI/ AI/ AI/ DI	GPIO CMP0 负输入端 功能转移后 CMP2 正输入端 ADC1 通道 7 输入 Hall0 C 输入
VDD2P5	36	P	2.5V LDO 输出电源，外接 \geq 1 μ F 电容
PB5/ A0P	37	DB/ AI	GPIO AMP0 正输入端
PB6/ A0M	38	DB/ AI	GPIO AMP0 负输入端

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
PB8/ C1P/ A1P/ AD1_8	39	DB/ AI/ AI/ AI	GPIO CMP1 正输入端 AMP1 正输入端 ADC1 通道 8 输入
PB9/ C1M/ A1M	40	DB/ AI/ AI	GPIO CMP1 负输入端 AMP1 负输入端
PB11/ C2P/ A2P/ AD1_9	41	DB/ AI/ AI/ AI	GPIO CMP2 正输入端 AMP2 正输入端 ADC1 通道 9 输入
PB12/ C2M/ A2M	42	DB/ AI/ AI	GPIO CMP2 负输入端 AMP2 负输入端
PB14/ C3M/ DA0/ AD1_3	43	DB/ AI/ AO/ AI	GPIO CMP3 负输入端 DAC0 输出端 ADC1 通道 3 输入
VDD_MR	44	P	角度传感器电源
VA+	45	AO	角度传感器正弦差分输出正端
VB-	46	AO	角度传感器余弦差分输出负端
VB+	47	AO	角度传感器余弦差分输出正端
VA-	48	AO	角度传感器正弦差分输出负端
PD5/ VREF	49	DB/ AB	GPIO ADC 外部参考输入或者内部 VREF 输出, 外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容
PD2/ VHALF	50	DB/ AO	GPIO 1/2 VREF 参考输出, 外接 1 μ F 电容
PC14/ AD2_1/ A6O/ C10P/ DA4/ AD1_11	51	DB/ AI/ AO/ AI/ AO/ AI	GPIO ADC2 通道 1 输入 AMP6 输出端 CMP10 正输入端 DAC4 输出端 ADC1 通道 11 输入

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
PC13/ C8M/ A6M	52	DB/ AI/ AI	GPIO CMP8 负输入端 AMP6 负输入端
PC12/ C8P/ A6P/ AD2_9	53	DB/ AI/ AI/ AI	GPIO CMP8 正输入端 AMP6 正输入端 ADC2 通道 9 输入
PC11/ AD2_0/ AD3_2/ C11P/ A5O	54	DB/ AI/ AI/ AI/ AO	GPIO ADC2 通道 0 输入 ADC3 通道 2 输入 CMP11 正输入端 AMP5 输出端
PC10/ C7M/ A5M	55	DB/ AI/ AI	GPIO CMP7 负输入端 AMP5 负输入端
PC9/ C7P/ A5P/ C11M/ AD2_8	56	DB/ AI/ AI/ AI/ AI	GPIO CMP7 正输入端 AMP5 正输入端 CMP11 负输入端 ADC2 CH8 输入
PC7/ A4M	57	DB/ AI	GPIO AMP4 负输入端
PC6/ A4P	58	DB/ AI	GPIO AMP4 正输入端
PC5/ C6M/ C8PS/ AD2_7/ HAL1C	59	DB/ AI/ AI/ AI/ DI	GPIO CMP6 负输入端 功能转移后 CMP8 输入 ADC2 通道 7 输入 Hall1 C 输入
PC4/ C6P/ AD2_6/ HAL1A	60	DB/ AI/ AI/ DI	GPIO CMP6 正输入端 ADC2 通道 6 输入 Hall1 A 输入
PC3/ C7PS/	61	DB/ AI/	GPIO 功能转移后 CMP7 正输入端

引脚	FU7371Q QFN64	IO 类型	功能描述
AD2_5/ HAL1B		AI/ DI	ADC2 通道 5 输入 Hall1 B 输入
PA0/ OLDBGS/ TIM4/ TIM3S/ TXD1/ LTX/ CTX/ SDA1	62	DB/ DO/ DB/ DB/ DO/ DO/ DO/ DB	GPIO 功能转移后 DataMonitor 端口 Timer4 输入或输出 功能转移后 Timer3 输入或输出 UART1 TXD 输出 LIN TXD 输出 CAN TXD 输出 I ² C1 数据线, 集电极开漏输出
PA1/ DBG1/ TIM7/ RXD1/ TXRXD1/ LRX/ CRX/ SCL1	63	DB/ DO/ DB/ DI/ DB/ DI/ DI/ DB	GPIO Debug1 端口 Timer7 输入或输出 UART1 RXD 输入 UART1 单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 LIN RXD 输入 CAN RXD 输入 I ² C1 时钟线, 集电极开漏输出
VBB_2	64	P	4N Pre-driver2 内部 12V LDO 输出电源, 外接 1 μ F ~ 4.7 μ F 电容

2.2 FU7371Q QFN64 引脚图

图 2-1 FU7371Q QFN64 引脚图

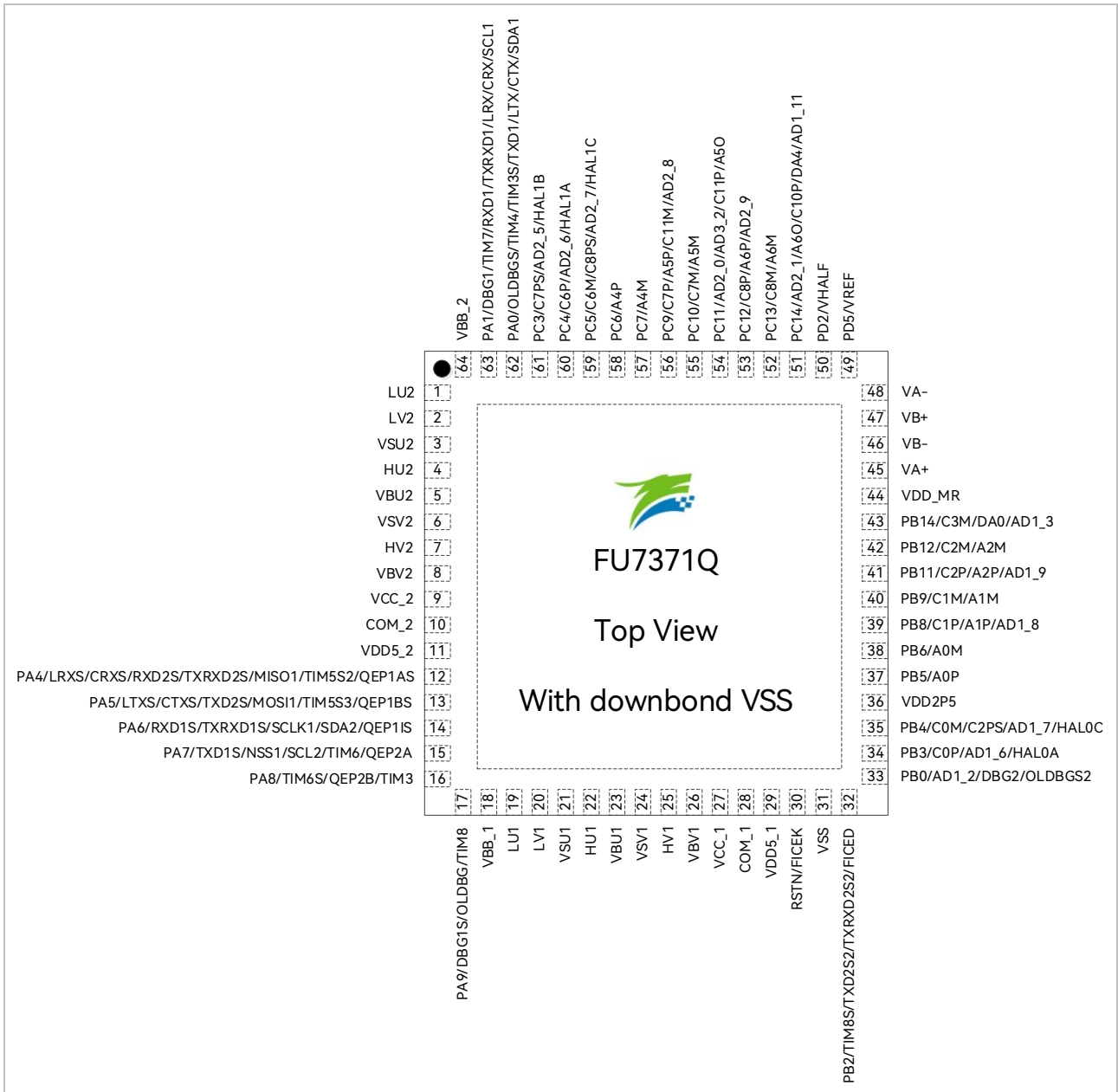
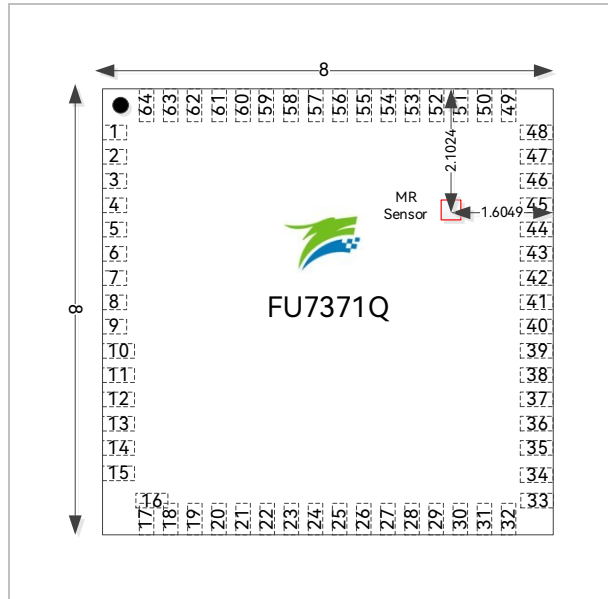


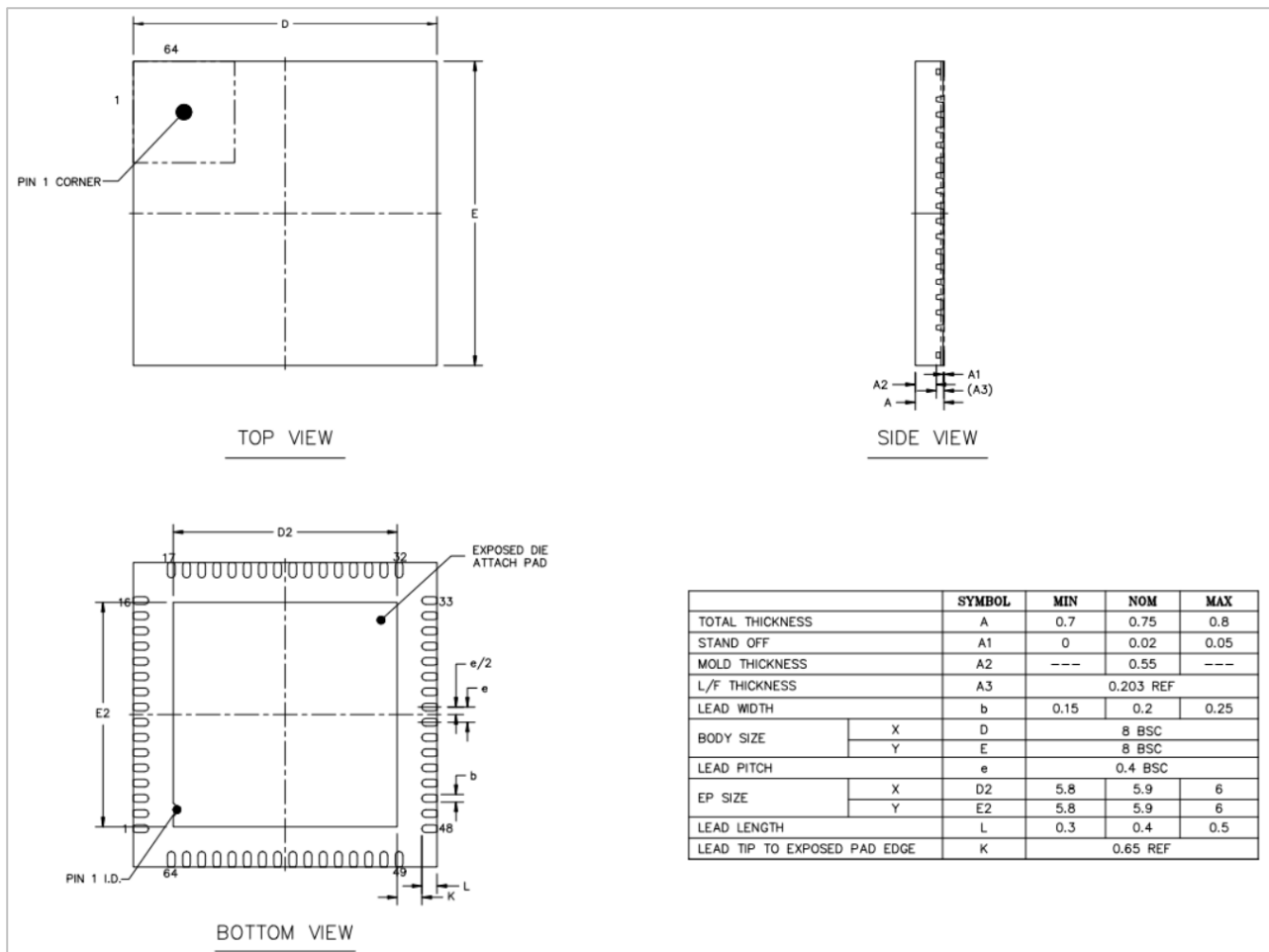
图 2-2 FU7371Q Sensor 位置示意图(单位: mm)



3 封装信息

3.1 FU7371Q QFN64_8X8

图 3-1 FU7371Q QFN64_8X8 封装尺寸图



4 订购信息

图 4-1 产品型号选择

型号	频率 (MHz)	Flash(kByte)	SRAM(kByte)	PRAM(kByte)	时钟电路		驱动接口 4N Pre-driver	驱动类型 FOC	I ² C/SPI1/UART/LIN/CANFD	DMA	GPIO	定时器	模拟外设							无铅	封装	
					内部快时钟	内部慢时钟							ADC			DAC		VREF	运放			比较器
							个数	通道数					位数	个数	位数							
FU7371Q	48/24	64	12	4	√	√	2	√	√	√	32	8	3	20	12	4	9\6	√	6	7	√	QFN64 (8 x 8mm)

5 电气特性

5.1 绝对最大额定值

超过表 5-1 绝对最大额定值中所列的应力值可能会永久损坏器件。这仅为应力额定值，不建议器件运行在该规范范围以外。长期在最大额定值条件下工作可能会影响器件的可靠性。

表 5-1 绝对最大额定值

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
工作时结温 T_J		-40	-	125	°C
储存温度 T_{STG}		-55	-	125	°C
VCC 相对 VSS 的电压		-0.3	-	26	V
VDD5 相对 VSS 的电压		-0.3	-	6.5	V
高侧浮动电压 $V_{BU,BV}$		-0.3	-	120	V
低侧供电电压		-0.3	-	VCC	V
低侧输出电压 $V_{LU,LV}$		-0.3	-	VCC + 0.3	V
RSTN、GPIO 相对 VSS 的电压		-0.3	-	VDD5 + 0.3	V

5.2 全局电气特性

表 5-2 全局电气特性

(除非特别声明, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VCC 工作电压 ^[1]		5	-	20	V
VDD5 工作电压 ^[2]		3	5	5.5	V
$I_{VCC,1}$ 工作电流 ^[3]	系统时钟 24M, $V_{CC,1} = 15\text{V}$	-	15	-	mA
$I_{VCC,1}$ 工作电流 ^[3]	系统时钟 48M, $V_{CC,1} = 15\text{V}$	-	20	-	mA
$I_{VCC,1}$ 待机电流	所有外设关断, $V_{CC,1} = 15\text{V}$	-	1.8	-	mA
$I_{VCC,1}$ 睡眠电流	PA_OE[10:11] = 11, PA_OE[13:14] = 11, $V_{CC,1} = 15\text{V}$	-	240	-	μA
$I_{VCC,2}$ 工作电流 ^[3]	$V_{CC,2} = 15\text{V}$, $V_{IN} = 0\text{V}$ 或 5V	-	0.28	-	mA
$I_{VCC,2}$ 静态电流	$V_{CC,2} = 15\text{V}$, $V_{IN} = 0\text{V}$ 或 5V	-	220	-	μA
工作时环境温度 T_A		-40	-	85	°C
工作时环境温度 T_A	$V_{CC} \leq 15\text{V}$ & $I_{VCC,1} + I_{VCC,2} \leq 30\text{mA}$	-40	-	105 ^[4]	°C



备注:

- [1] 根据不同批次的样品, VCC 电压上升速率范围 $0.5\text{V}/\mu\text{s} \sim 0.1\text{V}/\text{s}$
- [2] Flash 写入或擦除时 VDD5 必须保持在 $5\text{V} \sim 5.5\text{V}$
- [3] 根据程序运行的设置发生变化
- [4] 只有保证任何时刻均不超过最大 T_J 的前提下, 才能工作到 T_A 最大值

5.3 MR Sensor 电气特性

表 5-3 MR Sensor 参数

(除非特别声明, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压 VDD_MR		1.0	5.0	10.0	V
电阻 R	电桥电流 = 1mA 两个电桥并联	888	1110	1332	Ω
角度范围	大于饱和磁场	0	-	180	Deg
灵敏度	VDDA_MR = 5V, 磁场 = 80G 在零输出附近时	-	2.1	-	$\text{mV}/^\circ$
输出电压幅度 Vamp	VDDA_MR = 5V, 磁场 = 80G 峰峰值	135	140	165	mV
电桥零点偏移	磁场 = 80G	-1	0	+1	mV/V
电桥电阻温度系数 TCR	VDDA_MR = 5V, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +105^\circ\text{C}$	-	3.085	-	$\Omega/^\circ\text{C}$
灵敏度温度系数 TCS	VDDA_MR = 5V, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +105^\circ\text{C}$	-	-4.94	-	$\mu\text{V}/\text{V}/^\circ\text{C}$
电桥零点温漂系数 TCO	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim +105^\circ\text{C}$	-	± 7.74	-	$\mu\text{V}/\text{V}$
电桥匹配度	$(\text{Vamp-A}/\text{Vamp-B}) * 100$	97	100	103	%

5.4 GPIO 电气特性

表 5-4 GPIO 电气特性

(除非特别声明, $T_A = 25^\circ\text{C}$, VCC = 5V ~ 20V)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出上升时间	50pF 负载, 从 10%上升至 90%时间, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	15	-	ns
输出下降时间	50pF 负载, 从 90%下降至 10%时间, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	13	-	ns
V_{OH} 输出高电压 ^[1]	$I_{OH} = 4\text{mA}$, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$	VDD5 - 0.7	-	-	V
V_{OL} 输出低电压	$I_{OL} = 4\text{mA}$, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$	-	-	VSS + 0.7	V

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IH} 输入高电压		0.7*VDD5	-	-	V
V _{IL} 输入低电压		-	-	0.2*VDD5	V
上拉电阻 ^[2]		-	30	-	kΩ
上拉电阻 ^[3]		-	5.6	-	kΩ
下拉电阻 ^[4]		-	30	-	kΩ



备注:

[1] 输出的高电平属 VDD5 电压域, 会跟随 VDD5

[2] 除 PA[0:1], PA[4:7], PB[3:4], PC[3:5]外其他 GPIO 上拉均为 30k

[3] PA[0:1], PA[4:7], PB[3:4], PC[3:5]

[4] PA[0:1], PA[4:9]

5.5 4N Pre-driver1 IO 电气特性

表 5-5 4N Pre-driver1 IO 电气特性
(除非特别声明, T_A = 25°C, VCC = 15V)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
高电平输出峰值电流	VCC = 15V	-	0.8	-	A
低电平输出峰值电流	VCC = 15V	-	0.8	-	A
V _{BU} 相对 V _{SU} 电压, V _{BV} 相对 V _{SV} 电压		-	-	12	V
高侧浮动电压 V _{BU,BV}		-	-	100	V
高侧浮动偏移电压 V _{SU,SV}		V _{BU,BV} - 12	-	V _{BU,BV} - 5	V
VCC 欠压保护开启电压		-	4.7	-	V
VCC 欠压保护关断电压		-	4.4	-	V
VCC 欠压保护迟滞电压		-	0.3	-	V
输出上升时间	1nF 负载, 从 10%上升至 90%时间	-	50	-	ns
输出下降时间	1nF 负载, 从 90%下降至 10%时间	-	30	-	ns
死区时间		-	100	-	ns

5.6 4N Pre-driver2 IO 电气特性

表 5-6 4N Pre-driver2 IO 电气特性
(除非特别声明, T_A = 25°C, VCC = 15V)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
高电平输出峰值电流	VCC = 15V	-	0.8	-	A

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
低电平输出峰值电流	VCC = 15V	-	0.8	-	A
V _{BU} 相对 V _{SU} 电压, V _{BV} 相对 V _{SV} 电压		-	-	12	V
高侧浮动电压 V _{BU,BV}		-	-	100	V
高侧浮动偏移电压 V _{SU,SV}		V _{BU,BV} - 12	-	V _{BU,BV} - 5	V
VCC 欠压保护开启电压		-	4.7	-	V
VCC 欠压保护关断电压		-	4.4	-	V
VCC 欠压保护迟滞电压		-	0.3	-	V
输出上升时间	1nF 负载, 从 10%上升至 90%时间	-	50	-	ns
输出下降时间	1nF 负载, 从 90%下降至 10%时间	-	30	-	ns
死区时间		-	100	-	ns

5.7 ADC 电气特性

表 5-7 FU7371Q ADC 电气特性

(除非特别声明, T_A = 25°C, VCC = 5V ~ 20V)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
INL (积分非线性)	12 位模式	-	2	-	LSB
DNL (差分非线性)	12 位模式	-	1.5	-	LSB
OFFSET (失调误差)	12 位模式	-	6	-	LSB
SNR (信噪比)	f _{IN} = 350kHz	-	70.8	-	dB
ENOB (有效位数)	f _{IN} = 350kHz	-	10.5	-	bit
SFDR (无杂散动态范围)	f _{IN} = 350kHz	-	68.2	-	dB
THD (总谐波失真)	f _{IN} = 350kHz	-	67	-	dB
R _{IN} 输入电阻		-	800	-	Ω
C _{IN} 输入电容		-	30	-	pF
转换时间		-	13	-	ADCLK ^[1]
采样时间		3	-	63	ADCLK2 ^[2]



备注:

[1] ADCLK = 24MHz

[2] ADCLK2 = 12MHz

5.8 参考电压电气特性

表 5-8 FU7371Q 参考电压电气特性

(除非特别声明, $T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VREF	VREF_VHALF_CR[VRVSEL] = 00	4.3	4.5	4.7	V
	VREF_VHALF_CR[VRVSEL] = 01	4.8	5.0	5.2	V
	VREF_VHALF_CR[VRVSEL] = 10	2.8	3.0	3.2	V
	VREF_VHALF_CR[VRVSEL] = 11	3.8	4.0	4.2	V
VHALF	VREF_VHALF_CR[VHALFSEL] = 00	$V_{REF}/8 - 0.2$	$V_{REF}/8$	$V_{REF}/8 + 0.2$	V
	VREF_VHALF_CR[VHALFSEL] = 01	$V_{REF}/4 - 0.2$	$V_{REF}/4$	$V_{REF}/4 + 0.2$	V
	VREF_VHALF_CR[VHALFSEL] = 10	$25 \cdot V_{REF}/64 - 0.2$	$25 \cdot V_{REF}/64$	$25 \cdot V_{REF}/64 + 0.2$	V
	VREF_VHALF_CR[VHALFSEL] = 11	$V_{REF}/2 - 0.2$	$V_{REF}/2$	$V_{REF}/2 + 0.2$	V

5.9 运算放大器电气特性

表 5-9 FU7371Q 运算放大器电气特性

(除非特别声明, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{ICMR} 共模输入范围		0	-	$V_{DD5} - 1.5$	V
V_{OS} 运放的失配电压	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	5	10	mV
A_{OL} 开环增益	$R_L = 100\text{k}\Omega$	-	80	-	dB
U_{GBW} 单位增益带宽	$C_L = 40\text{pF}$	6	10	-	MHz
SR 运放的摆率	$C_L = 40\text{pF}$	10	15	-	$\text{V}/\mu\text{s}$
运放放大倍数 ^[1]	AMP_CR1[AMPxGAIN] = 001	3.76	4	4.24	-
	AMP_CR1[AMPxGAIN] = 010	7.5	8	8.5	-
	AMP_CR1[AMPxGAIN] = 011	15	16	17	-
	AMP_CR1[AMPxGAIN] = 100	18.5	20	21.5	-
	AMP_CR1[AMPxGAIN] = 110, 仅 AMP5/6 支持	37	40	43	-



备注:

[1] 运放放大倍数是在正负输入端串联 1kΩ电阻的情况下测得, 不同的外接电阻, 放大倍数不同。

5.10 BEMF 电气特性

表 5-10 FU7371Q BEMF 电气特性

(除非特别声明, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
BEMF 内置电阻	$T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$	5.4	6.8	8.2	k Ω
BEMF 内置电阻间相对精度		-	1	-	%

5.11 OSC 电气特性

表 5-11 FU7371Q OSC 电气特性

(除非特别声明, $T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
系统时钟频率	PLL 不使能	23.5	24	24.5	MHz
系统时钟频率	PLL 使能	23.5	24	24.5	MHz
系统时钟频率	PLL 使能	47	48	48	MHz
低速时钟频率		29	32.8	37	kHz



备注:

系统时钟周期为 T , SYSCLK 为系统时钟频率, $T = 1/\text{SYSCLK}$, 芯片系统时钟频率为 24MHz。除非特别声明, 后续引用到 T 与 SYSCLK 均与此同。

5.12 复位电气特性

表 5-12 FU7371Q 复位电气特性

(除非特别声明, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
RSTN 复位低电平最小时间		50	-	-	μs
VDD5 低电压复位电压	复位电压选择 $\text{LVR} = 3.0$	2.8	3.0	3.2	V

5.13 LDO 电气特性

表 5-13 FU7371Q LDO 电气特性

(除非特别声明, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V} \sim 20\text{V}$)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VBB 电压		-	12	-	V
VDD5 电压		4.8	5	5.2	V

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VDD2P5 电压		2.3	2.5	2.7	V

5.14 封装热阻

表 5-14 FU7371Q QFN64 封装热阻

参数	条件	最小值	单位
θ_{JA} 结温相对环境温度热阻 ^[1]	JEDEC 标准, 2S2P PCB	30	°C/W
	JEDEC 标准, 1S0P PCB	52	°C/W
θ_{JC} 结温相对封装表面温度热阻 ^[1]	JEDEC 标准, 1S0P PCB	8	°C/W

6 复位控制

6.1 复位源(RST_SR)

芯片有 7 个复位源：

- > 上电复位(RSTPOW)
- > 外部引脚复位(RSTEXT)
- > 低电压复位(RSTLVD)
- > 看门狗复位(RSTWDT)
- > Flash非法操作复位(RSTFED)
- > Debug复位(RSTDBG)
- > 软复位(SOFTRST)

复位标志位可查询，记录在寄存器 RST_SR 中。最近一次的复位会把相关的标志位置 1，把其他各位标志位清 0。如需清除标志位，将 RST_CR[RSTCLR]置 1，清除 RST_SR[7:3]&RST_SR[0]。复位后 MCU 从地址 0 开始执行程序。

6.2 复位使能

复位使能参考相关控制寄存器。

6.3 外部引脚复位、上电复位

当芯片 RSTN 引脚为低，且超过 50 μ s 时，芯片复位。

电源上电，电压超过复位电压阈值后，芯片复位。

6.4 低电压保护复位

芯片的内部电路会对 VDD5 进行监测，如 VDD5 电压降低至复位电压阈值，内部监测电路将发出对应的复位信号，使芯片发生复位。

配置相关寄存器可使能低电压检测电路，并选择低电压阈值。

6.5 看门狗溢出复位

使能看门狗定时器后，软件在程序中需要不断喂狗。当程序异常或未进行喂狗动作时，看门狗定时器溢出引发芯片复位。

6.6 RSTFED 复位

Flash通过对指定的Flash地址进行写操作触发对Flash的各种操作。当对最后一个扇区(0xFF00 ~ 0xFFFF)进行自擦除或对最后一个字节(0xFFFF)进行自写操作时，发生Flash非法操作复位。RSTFED复位源固定使能，不可禁止。

6.7 RSTDBG 复位

当芯片处于调试状态，点击IDE的复位按钮，IDE发送Debug复位将芯片复位。

6.8 软复位

通过程序设置RST_CR[SFRST] = 1，芯片立刻复位，复位后RST_SR[SOFTRST]标志位被置1。

6.9 复位寄存器

6.9.1 RST_SR (CSR:0x4D0)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
RSV																								RSTPOW	RSTEXT	RSTLVD	RSV	RSTWDT	RSTFED	RSTDBG	SOFTRST								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	r	-	r	r	r	r								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7]	RSTPOW	上电复位标志位 0: 上次复位不是来自上电复位

		1: 上次复位来自上电复位
[6]	RSTEXT	外部引脚复位标志位 0: 上次复位不是来自外部引脚复位 1: 上次复位来自外部引脚复位
[5]	RSTLVD	低电压复位标志位 0: 上次复位不是来自低电压复位 1: 上次复位来自低电压复位
[4]	RSV	保留
[3]	RSTWDT	看门狗复位标志位 0: 上次复位不是来自看门狗复位 1: 上次复位来自看门狗复位
[2]	RSTFED	Flash 非法操作复位标志位 0: 上次复位不是来自 Flash 非法操作复位 1: 上次复位来自 Flash 非法操作复位
[1]	RSTDBG	Debug 复位标志位 0: 上次复位不是来自 Debug 复位 1: 上次复位来自 Debug 复位
[0]	SOFTRST	软复位标志位 0: 上次复位不是来自软复位 1: 上次复位来自软复位

6.9.2 RST_CR (CSR:0x4D1)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																	SFRST	RSTCLR														
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	W1	W1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

位	名称	描述
[31:2]	RSV	保留
[1]	SFRST	软件复位 0: 无意义 1: 触发软复位
[0]	RSTCLR	复位标志清 0 0: 无意义 1: 清 RST_SR[7:3] & RST_SR[0]的复位标志位

7 中断

7.1 中断简介

除复位中断外，每个中断源都可以设置优先级。低优先级中断可以被高优先级中断打断。当高优先级中断子程序执行结束，进入低优先级中断。相同优先级的中断不能相互打断。中断优先级寄存器可以单独设置每一个中断的优先级。设定值 0 ~ 7 依次表示优先级从低到高，默认值为 0。如果同时发生两个中断请求，则优先进入优先级较高的中断。如果两个中断源的优先级相同，则按照固定的优先顺序进行仲裁。中断源的详细列表以及仲裁顺序如表 7-1 中断说明所示。其中，标号越小代表优先顺序越高。

7.2 中断源使能

MIE[IRQ_EN]是全局中断使能位，MIE[IRQ_EN] = 0 时不响应任何中断请求。

通过设置 CSR 中相关的中断使能位，可以单独使能或不使能某个中断源。使能全局中断后才能识别该中断源。全局中断使能寄存器或各个中断对应的中断使能位被清 0 后，被置 1 的中断标志寄存器将被一直保持。当相应的使能位被置 1，立刻进入标志位为 1 的中断。所以，在将使能位置 1 之前，要注意先将对应的中断标志位清 0。

7.3 外部中断

外部中断共有 3 个中断源 EXTI0、EXTI1 和 EXTI2。EXTI0、EXTI1 和 EXTI2 都可以配置为上升沿触发中断、下降沿触发中断或者电平改变触发中断。

端口 PA0 ~ PA1、PA4 ~ PA9 的数字输入信号，可以作为外部中断 EXTI0 的中断触发源。外部中断 EXTI0 可以选择多个中断触发源，中断源选择使能位为 EX0IE，中断子程序内通过 EXTI0IF 来确认中断源。8 个中断触发源共用一个中断入口，一个中断使能位 PIE[EX0]。配置外部中断 EXTI0 使能先配置 PIE[EX0] = 1，再配置对应的中断源使能位。中断触发电平由 EXTI_TCON[IT0]选择。优先级在 IP2 中设定。

端口 PB2 和 PA0 ~ PA1、PA4 ~ PA9 的数字输入信号，可以作为外部中断 EXTI1 的中断触发源。外部中断 EXTI1 可以选择多个中断触发源，中断源选择使能位为 EX1IE，中断子程序内通过 EXTI1IF 来确认中断源。9 个中断触发源共用一个中断入口，一个中断使能位 PIE[EX1]。配置外部中断 EXTI1 使能先配置 PIE[EX1] = 1，再配置对应的中断源使能位。中断触发电平由 EXTI_TCON[IT1]选择。优先级在 IP1 中设

定。

端口 PC3 ~ PC7 和 PB0、PB2 ~ PB6 的数字输入信号，可以作为外部中断 EXT12 的中断触发源。外部中断 EXT12 可以选择多个中断触发源，中断源选择使能位为 EX2IE，中断子程序内通过 EXT12IF 来确认中断源。11 中断触发源共用一个中断入口，一个中断使能位 PIE[EX2]。配置外部中断 EXT12 使能先配置 PIE[EX2] = 1，再配置对应的中断源使能位。中断触发电平由 EXTI_TCON[IT2]选择。优先级在 IP3 中设定。

7.4 中断说明

表 7-1 中断说明

中断源	优先顺序	向量地址	标志位	是否软件清除	中断使能位	优先级设定
复位	最高	无	无	否	一直使能	最高
LVW 中断 TSD 中断 ECC 中断	0	0x00000000	LVSR[0] EXTI_TCON[6] ECC_SR[6] ECC_SR[3:0]	是	CCFG2[6] PIE[3] ECC_CR[6] ECC_CR[4:0]	IP0[2:0]
EXTI0	1	0x00000004	EXTI0IF[9:3] EXTI0IF[0]	是	PIE[0]	IP1[2:0]
EXTI1	2	0x00000008	EXTI1IF[15] EXTI1IF[9:4] EXTI1IF[15:0]	是	PIE[1]	IP2[2:0]
EXTI2	3	0x0000000C	EXTI2IF[15:11] EXTI2IF[6:2] EXTI2IF[0]	是	PIE[2]	IP3[2:0]
CMP3/4 中断 CMP9/10/11 中断	4	0x00000010	CMP_IFR[4] CMP_IFR[11:9]	是	CMP_CR0[9:6] CMP_CR4[11:6]	IP4[2:0]
CMP0/1/2 中断 CMP6/7/8 中断	5	0x00000014	CMP_IFR[2:0] CMP_IFR[8:6]	是	CMP_CR0[5:0] CMP_CR4[5:0]	IP5[2:0]
DRV1 保护中断	6	0x00000018	DRV1_PSR[4:0]	是	DRV1_PER[4:0] DRV1_PTR[3:0]	IP6[2:0]
DRV2 保护中断	7	0x0000001C	DRV2_PSR[4:0]	是	DRV2_PER[4:0] DRV2_PTR[3:0]	IP7[2:0]
DRV1 中断	8	0x00000020	DRV1_IFR[4:3] DRV1_IFR[0]	是	DRV1_IER[5:3]	IP8[2:0]

中断源	优先顺序	向量地址	标志位	是否软件清除	中断使能位	优先级设定
DRV2 中断	9	0x00000024	DRV2_IFR[4:3] DRV2_IFR[0]	是	DRV2_IER[5:3]	IP9[2:0]
RSV	10	保留	保留	保留	保留	保留
ADC1/2/3 中断	11	0x0000002C	ADC1_CR[0] ADC2_CR[0] ADC3_CR[0]	是	ADC1_CR[1] ADC2_CR[1] ADC3_CR[1]	IP11[2:0]
DMA0/1 中断	12	0x00000030	DMA0_CR[1:0] DMA1_CR[1:0]	是	DMA0_CR[12:11] DMA1_CR[12:11]	IP12[2:0]
DMA2/3 中断	13	0x00000034	DMA2_CR[1:0] DMA3_CR[1:0]	是	DMA2_CR[12:11] DMA3_CR[12:11]	IP13[2:0]
DMA4/5 中断	14	0x00000038	DMA4_CR[1:0] DMA5_CR[1:0]	是	DMA4_CR[12:11] DMA5_CR[12:11]	IP14[2:0]
Systick 中断	15	0x0000003C	SYST_SR[1]	是	SYST_SR[0]	IP15[2:0]
RSV	16	保留	保留	保留	保留	保留
Timer3 中断 Timer8 中断	17	0x00000044	TIM3_IFR[2:0] TIM8_IFR[2:0]	是	TIM3_IER[2:0] TIM8_IER[2:0]	IP17[2:0]
Timer4 中断	18	0x00000048	TIM4_IFR[2:0]	是	TIM4_IER[2:0]	IP18[2:0]
Timer5 中断	19	0x0000004C	TIM5_IFR[2:0]	是	TIM5_IER[2:0]	IP19[2:0]
Timer6 中断	20	0x00000050	TIM6_IFR[2:0]	是	TIM6_IER[2:0]	IP20[2:0]
Timer7 中断	21	0x00000054	TIM7_IFR[2:0]	是	TIM7_IER[2:0]	IP21[2:0]
WWDT 中断	22	0x00000058	WWDT_SR[0]	是	WWDT_CFR[9]	IP22[2:0]
RTC 中断 MCD 中断 PLL 中断	23	0x0000005C	RTC_CR[6] OSC_SR[0] OSC_SR[1]	是	PIE[4] OSC_CR[4] OSC_CR[5]	IP23[2:0]
I ² C1 中断 I ² C2 中断	24	0x00000060	I2C1_SR[0] I2C2_SR[0]	是	I2C1_CR[0] I2C2_CR[0]	IP24[2:0]
SPI1 中断	25	0x00000064	SPI1_SR[3]	是	SPI1_CR[2]	IP25[2:0]
RSV	26	保留	保留	保留	保留	保留
UART1 中断	27	0x0000006C	UT1_CR1[10:9]	是	UT1_CR0[1:0] UT1_CR0[10]	IP27[2:0]
UART2 中断	28	0x00000070	UT2_CR1[10:9]	是	UT2_CR0[1:0] UT2_CR0[10]	IP28[2:0]
LIN 中断	29	0x00000074	LIN_SR[4:0]	是	LIN_CR[3]	IP29[2:0]
CAN 中断	30	0x00000078	CAN_IFR[8:0]	是	CAN_IER[12:0]	IP30[2:0]
RSV	31	保留	保留	保留	保留	保留



备注:

对于 UTx_CR0[RI]、UTx_CR0[TI]、DMAx_CR[DMAIF]和 DMAx_CR[DMAHIF], 可软件清 0 置 1, 软件置 1 时产生中断请求。除上述中断事件标志位, 其他的中断事件标志位软件只能清 0, 软件置 1 无意义。

7.5 中断寄存器

7.5.1 MIE (CSR:0x300)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																												IRQ_EN	RSV		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
																												rw	-	-	-
																												0	-	-	-

位	名称	描述
[31:4]	RSV	保留
[3]	IRQ_EN	总中断使能位 0: 不使能 1: 使能
[2:0]	RSV	保留

7.5.2 IPx (CSR:0x409 + x) (x = 0/1/2/.../31)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																												IP			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
																												rw	rw	rw	
																												0	0	0	

位	名称	描述
[31:3]	RSV	保留
[2:0]	IP	中断优先级配置



备注:

中断优先级设定值从 0 ~ 7 依次表示优先级从低到高, 共 8 级。

7.5.3 PIE (CSR:0x400)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																										RTCIE	TSDIE	EX2	EX1	EX0		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW0	rW	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:5]	RSV	保留
[4]	RTCIE	RTC 中断使能位 0: 不使能 1: 使能
[3]	TSDIE	TSD 中断使能位 0: 不使能 1: 使能
[2]	EX2	EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[1]	EX1	EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[0]	EX0	EXTI0 使能位 0: 不使能 1: 使能

7.5.4 EXTI_TCON (CSR:0x407)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0							
RSV																										TSDIF	IT2	IT1	IT0									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:7]	RSV	保留
[6]	TSDIF	TSD 中断事件标志位

		0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[5:4]	IT2	EXTI2 触发电平选择 00: 上升沿触发中断 01: 下降沿触发中断 1x: 电平改变(上升或下降)触发中断
[3:2]	IT1	EXTI1 触发电平选择 00: 上升沿触发中断 01: 下降沿触发中断 1x: 电平改变(上升或下降)触发中断
[1:0]	IT0	EXTI0 触发电平选择 00: 上升沿触发中断 01: 下降沿触发中断 1x: 电平改变(上升或下降)触发中断

7.5.5 EXTI0IE (CSR:0x401)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																						EX0IE9	EX0IE8	EX0IE7	EX0IE6	EX0IE5	EX0IE4	RSV		EX0IE1	EX0IE0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	-	-	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留
[9]	EX0IE9	PA9 端口 EXTI0 使能位 0: 不使 1: 使能
[8]	EX0IE8	PA8 端口 EXTI0 使能位 0: 不使 1: 使能
[7]	EX0IE7	PA7 端口 EXTI0 使能位 0: 不使 1: 使能
[6]	EX0IE6	PA6 端口 EXTI0 使能位 0: 不使 1: 使能

[5]	EX0IE5	PA5 端口 EXTIO 使能位 0: 不使 1: 使能
[4]	EX0IE4	PA4 端口 EXTIO 使能位 0: 不使 1: 使能
[3:2]	RSV	保留
[1]	EX0IE1	PA1 端口 EXTIO 使能位 0: 不使 1: 使能
[0]	EX0IE0	PA0 端口 EXTIO 使能位 0: 不使 1: 使能

7.5.6 EXTI1IE (CSR:0x402)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																EX1IE15	RSV						EX1IE9	EX1IE8	EX1IE7	EX1IE6	EX1IE5	EX1IE4	RSV		EX1IE1	EX1IE0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	-	-	rW	rW	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	EX1IE15	PB2 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[14:10]	RSV	保留
[9]	EX1IE9	PA9 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[8]	EX1IE8	PA8 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[7]	EX1IE7	PA7 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能

[6]	EX1IE6	PA6 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[5]	EX1IE5	PA5 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[4]	EX1IE4	PA4 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[3:2]	RSV	保留
[1]	EX1IE1	PA1 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能
[0]	EX1IE0	PA0 端口 EXTI1 使能位 0: 不使能 1: 使能

7.5.7 EXTI2IE (CSR:0x403)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																EX2IE15	EX2IE14	EX2IE13	EX2IE12	EX2IE11	RSV						EX2IE6	EX2IE5	EX2IE4	EX2IE3	EX2IE2	RSV	EX2IE0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	-	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0		

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	EX2IE15	PC7 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[14]	EX2IE14	PC6 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[13]	EX2IE13	PC5 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[12]	EX2IE12	PC4 端口 EXTI2 使能位

		0: 不使能 1: 使能
[11]	EX2IE11	PC3 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[10:7]	RSV	保留
[6]	EX2IE6	PB6 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[5]	EX2IE5	PB5 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[4]	EX2IE4	PB4 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[3]	EX2IE3	PB3 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[2]	EX2IE2	PB2 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能
[1]	RSV	保留
[0]	EX2IE0	PB0 端口 EXTI2 使能位 0: 不使能 1: 使能

7.5.8 EXTI0IF (CSR:0x404)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
																						RSV		EX0IF9	EX0IF8	EX0IF7	EX0IF6	EX0IF5	EX0IF4	RSV		EX0IF1	EX0IF0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw0	rw0	rw0	rw0	rw0	rw0	-	-	rw0	rw0		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0		

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留

[9]	EX0IF9	PA9 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[8]	EX0IF8	PA8 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[7]	EX0IF7	PA7 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[6]	EX0IF6	PA6 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[5]	EX0IF5	PA5 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[4]	EX0IF4	PA4 端口 EXTIO 标志位 读:

		0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[3:2]	RSV	保留
[1]	EX0IF1	PA1 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[0]	EX0IF0	PA0 端口 EXTIO 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义

7.5.9 EXTI1IF (CSR:0x405)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																EX1IF15	RSV						EX1IF9	EX1IF8	EX1IF7	EX1IF6	EX1IF5	EX1IF4	RSV		EX1IF1	EX1IF0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw0	-	-	-	-	-	rw0	rw0	rw0	rw0	rw0	rw0	rw0	-	-	rw0	rw0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	EX1IF15	PB2 端口 EXTI1 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写:

		0: 清 0 1: 无意义
[14:10]	RSV	保留
[9]	EX1IF9	PA9 端口 EXT11 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[8]	EX1IF8	PA8 端口 EXT11 使能位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[7]	EX1IF7	PA7 端口 EXT11 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[6]	EX1IF6	PA6 端口 EXT11 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[5]	EX1IF5	PA5 端口 EXT11 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0

		1: 无意义
[4]	EX1IF4	PA4 端口 EXTI1 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[3:2]	RSV	保留
[1]	EX1IF1	PA1 端口 EXTI1 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[0]	EX1IF0	PA0 端口 EXTI1 标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义

7.5.10 EXTI2IF (CSR:0x406)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																EX2IF15	EX2IF14	EX2IF13	EX2IF12	EX2IF11	RSV						EX2IF6	EX2IF5	EX2IF4	EX2IF3	EX2IF2	RSV	EX2IF0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r0	r0	r0	r0	r0	-	-	-	-	r0	r0	r0	r0	r0	-	r0		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0		

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	EX2IF15	PC7 端口 EXTI2 标志位 读:

		<p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[14]	EX2IF14	<p>PC6 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[13]	EX2IF13	<p>PC5 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[12]	EX2IF12	<p>PC4 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[11]	EX2IF11	<p>PC3 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[10:7]	RSV	保留
[6]	EX2IF6	<p>PB6 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p>

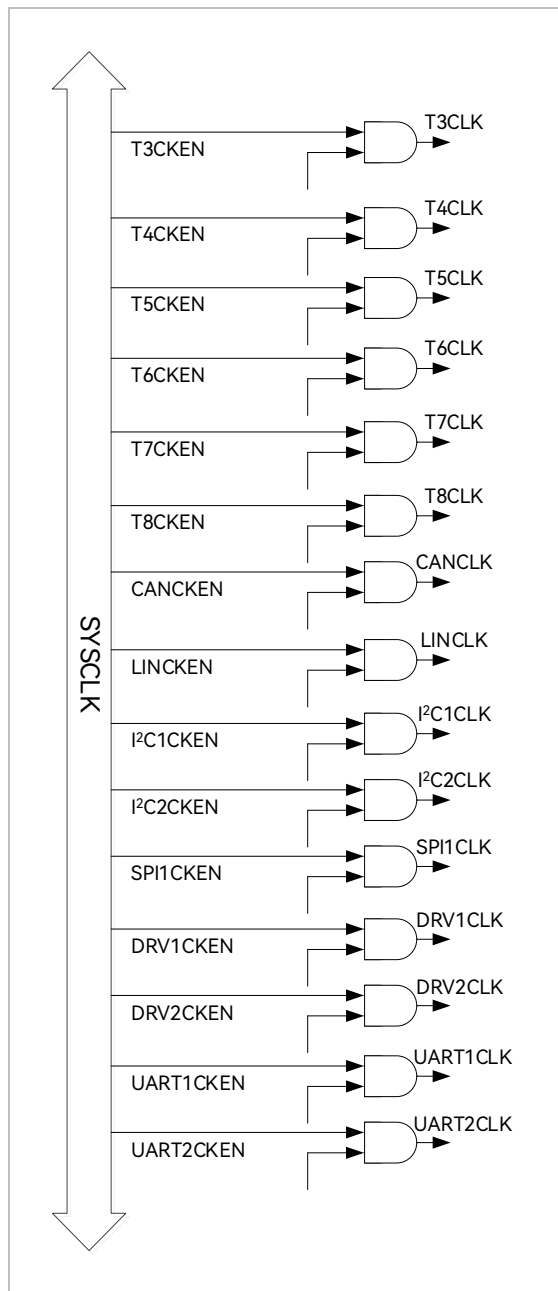
		<p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[5]	EX2IF5	<p>PB5 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[4]	EX2IF4	<p>PB4 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[3]	EX2IF3	<p>PB3 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[2]	EX2IF2	<p>PB2 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[1]	RSV	保留
[0]	EX2IF0	<p>PB0 端口 EXTI2 标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p>

		写: 0: 清 0 1: 无意义
--	--	------------------------

8 时钟门控

Timer3 ~ Timer8、CAN、LIN、I²C1、I²C2、SPI1、DRV1、DRV2、UART1、UART2 模块有单独的时钟门控电路。模块工作时需配置 CK_CR 对应时钟使能位。

图 8-1 时钟树



8.1 时钟门控寄存器

8.1.1 CK_CR (CSR:0x080)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0												
RSV												T8CKEN	I2C2EN	RSV		DRV2CKEN	DRV1CKEN	RSV	UART2CKEN	UART1CKEN	LINCKEN	SPI2CKEN	SPI1CKEN	I2C1CKEN	CANCKEN	T7CKEN	T6CKEN	T5CKEN	T4CKEN	T3CKEN	RSV												
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	-	-	rw	rw	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									

位	名称	描述
[31:20]	RSV	保留
[19]	T8CKEN	Timer8 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[18]	I2C2EN	I ² C2 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[17:16]	RSV	保留
[15]	DRV2CKEN	DRV2 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能  备注 使芯片进入睡眠模式前，需禁用该位
[14]	DRV1CKEN	DRV1 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能  备注 使芯片进入睡眠模式前，需禁用该位
[13]	RSV	保留
[12]	UART2CKEN	UART2 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[11]	UART1CKEN	UART1 模块时钟使能

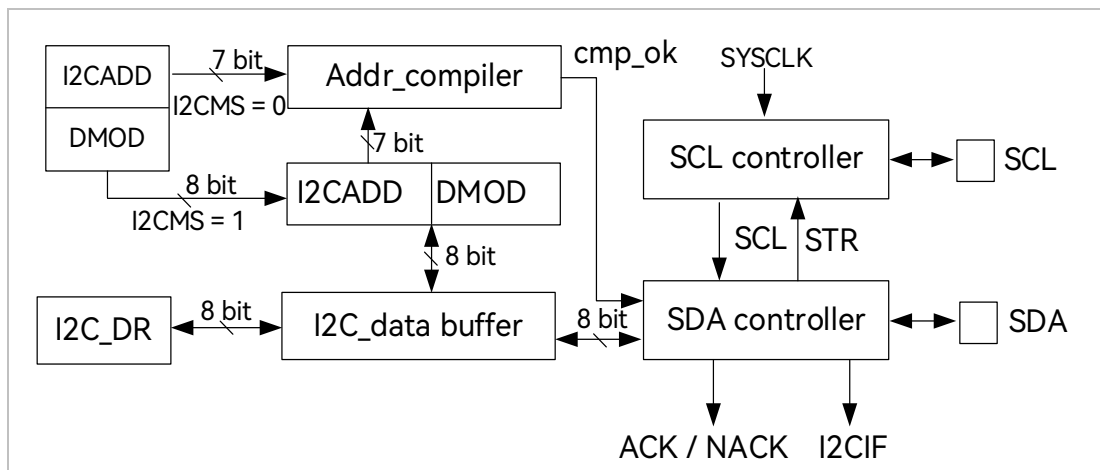
		0: 不使能 1: 使能
[10]	LINCKEN	LIN 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[9]	RSV	保留
[8]	SPI1CKEN	SPI1 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[7]	I2C1CKEN	I ² C1 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[6]	CANCKEN	CAN 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[5]	T7CKEN	Timer7 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T6CKEN	Timer6 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T5CKEN	Timer5 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T4CKEN	Timer4 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T3CKEN	Timer3 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	RSV	保留

9 I²C

9.1 I²C 简介

I²C 模块提供了符合工业标准的两线串口接口，是一种简单双向的同步串行总线，可用于 MCU 和外部 I²C 设备的通讯，如图 9-1 所示。总线由两根串行线组成：SDA 和 SCL。I²C 使能后，SDA 和 SCL 自动变为开漏电路。

图 9-1 I²C 结构框图



主要特性：

- 支持 I²C 协议的标准模式(最高 100kHz)、快速模式(最高 400kHz)以及快速 + 模式(最高 1MHz)
- 支持主机模式和从机模式
- 支持 7 位地址模式和广播寻址模式
- 支持 DMA 数据传输

总线在空闲时 SDA 和 SCL 为高电平，这是检测总线是否空闲的唯一依据。在传输过程中总线上有且只有一个主器件和至少一个从器件处于活跃状态。当总线被占用时，其他设备必须等待 I²C 总线空闲后才能控制总线发起 I²C 通讯。主机用于启动总线传输数据，并通过 SCL 向所有设备发送时钟信号，通过 SDA 发送从机地址和读写模式。如总线上有设备匹配该地址，则该设备将作为从机。在总线上主、从机和数据收发的关系不是恒定的。主机发送数据给从机的过程为：主机首先寻址从机，等待从机应答后发送数据至从机，最后由主机终止数据传送，通讯过程如图 9-2 所示。主机接收从机数据的过程为：主机首先寻址从

机，等待从机应答后，主机接收从机发送的数据，最后由主机终止接收过程，通讯过程如图 9-3 所示。在这种情况下，主机负责产生传输时钟和终止数据传送。

图 9-2 主机向从机发送数据

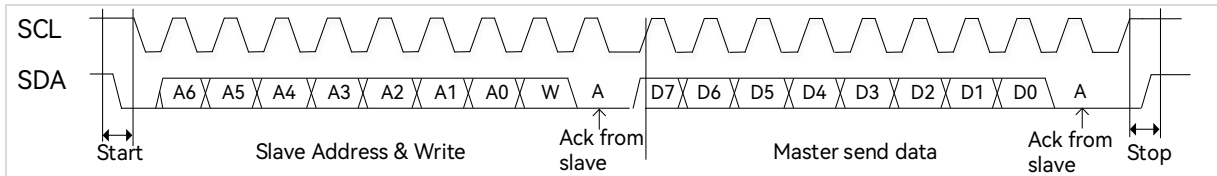
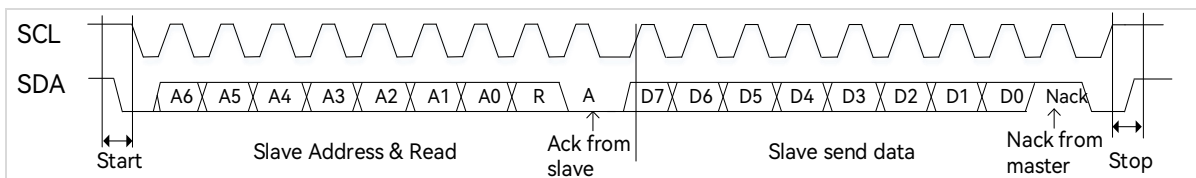


图 9-3 主机接收从机的数据



9.2 I²C 操作说明

9.2.1 主机模式

1. 配置I2Cx_CR[I2CMS] = 1，设置为主机模式；
2. 配置I2Cx_BAUD，设置时钟SCL频率；
3. 配置I2Cx_ID[I2CADD]，设置从机地址；
4. 配置I2Cx_SR[DMOD]，设置读写方向；
5. 配置I2Cx_CR[I2CEN] = 1，使能I²C；
6. 配置I2Cx_SR[I2CSTA] = 1，发送START和地址，在接收到ACK/NACK后，I2Cx_SR[STR]被硬件置1，SCL被主机强制拉低；
7. 发送数据: 通过I2Cx_DR配置发送数据，将I2Cx_SR[STR]清0释放SCL后，主机开始发送数据。当数据发送完毕且接收到ACK/NACK后，I2Cx_SR[STR]硬件置1，SCL被主机强制拉低；
8. 接收数据: 在将I2Cx_SR[STR]清0释放SCL后，主机开始接收数据。当数据接收完毕，I2Cx_SR[STR]硬件置1，SCL被主机强制拉低。通过I2Cx_SR[NACK]设置ACK/NACK后，再向I2Cx_SR[STR]清0释放SCL以发送ACK/NACK信号。如收到了新数据，I2Cx_SR[STR]硬件置1，SCL被主机强制拉低；

9. 停止通讯: 当在I2Cx_SR[STR] = 1时置位I2Cx_SR[I2CSTP] = 1, I2Cx_SR[STR]复位后发送停止信号。

9.2.2 从机模式

1. 配置I2Cx_CR[I2CMS] = 0, 设置为从机模式;
2. 配置I2Cx_ID[I2CADD], 设置从机地址; 或者配置I2Cx_ID[GC] = 1, 使能广播模式;
3. 配置I2Cx_CR[I2CEN] = 1, 使能I²C;
4. 接收到START信号和正确的地址后, I2Cx_SR[I2CSTA]和I2Cx_SR[STR]被硬件置1, SCL被从机强制拉低。通过I2Cx_SR[NACK]设置ACK/NACK, 并通过I2Cx_SR[DMOD]确认本次通讯是接收数据还是发送数据;
5. 发送数据: 通过I2Cx_DR配置发送数据, 将I2Cx_SR[STR]清0释放SCL后, 发送ACK/NACK后发送数据, 当数据发送完成且收到主机发来的ACK/NACK后, I2Cx_SR[STR]硬件置1, SCL被从机强制拉低;
6. 接收数据: 将I2Cx_SR[STR]清0释放SCL开始接收数据。当数据接收完成, I2Cx_SR[STR]硬件置1, SCL被从机强制拉低。通过I2Cx_SR[NACK]设置ACK/NACK后, 将I2Cx_SR[STR]清0释放SCL并发送ACK/NACK。如接收到新的数据, I2Cx_SR[STR]硬件置1, SCL被从机强制拉低;
7. RESTART功能: 当从机在忙状态中接收到START信号, 则中止当前工作, 等待接收地址。

9.2.3 I²C 中断源

I²C 的中断源有:

- > I2Cx_SR[STR] = 1时, 该中断源在主机和从机模式下都有效
- > I2Cx_SR[I2CSTP] = 1时, 该中断源只在从机模式下有效

9.3 I²C 寄存器

9.3.1 I2Cx_CR (CSR:0x160/0x170)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV												I2CEN		I2CMS		RSV		I2CDMANAKIG		I2CDMASENDAUTO		RSV		I2CFSEL		I2CIE					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	-	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7]	I2CEN	I ² C 使能 使能相应 GPIO 切换为 I ² C 模式，集电极开漏输出。I ² C 上拉是否打开由端口上拉设置决定。 0: 不使能 1: 使能
[6]	I2CMS	主/从机模式选择 0: 从机 1: 主机
[5]	RSV	保留
[4]	I2CDMANAKIG	DMA 传输时忽略 NACK 应答引起的传输中断使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	I2CDMASENDAUTO	DMA 传输时自动发送第一个数据字节使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	RSV	保留
[1]	I2CFSEL	I ² C 滤波选择 0: SCL 滤波毛刺 50ns, SDA 滤波毛刺 125ns, 适用于 1MHz 模式 1: SCL 滤波毛刺 100ns, SDA 滤波毛刺 175ns, 适用于 100k/400kHz 模式

[0]	I2CIE	I ² C 中断使能 0: 不使能 1: 使能
-----	-------	--

9.3.2 I2Cx_ID (CSR:0x161/0x171)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																								I2CADD				GC				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:1]	I2CADD	从机地址
[0]	GC	广播模式，仅在从机模式下有效 0: 不使能广播呼叫 1: 使能广播呼叫，即地址 0x00 也会响应

9.3.3 I2Cx_DR (CSR:0x162/0x172)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																								I2C_DR								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:0]	I2C_DR	I ² C 数据寄存器 读: 准备发送的数据或接收到的数据 写: 准备发送的数据

9.3.4 I2Cx_SR (CSR:0x163/0x173)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																								I2CBSY	DMOD	RSV	I2CSTA	I2CSTP	STR	NACK	I2CIF
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	rw	-	rw	rw	rw0	rw	r
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7]	I2CBSY	<p>I²C 忙状态标志位</p> <p>当 I2Cx_CR[I2CEN] = 0 时, I2Cx_SR[I2CBSY]硬件清 0</p> <p>主机模式:</p> <p>发送 START 成功后, 硬件置 1, 发送 STOP 成功后, 硬件清 0</p> <p>从机模式:</p> <p>收到 START 且地址匹配成功后, 硬件置 1, 收到 STOP 后, 硬件清 0</p>
[6]	DMOD	<p>I²C 读写标志位</p> <p>0: 写模式(主机端发数据, 从机端收数据)</p> <p>1: 读模式(主机端收数据, 从机端发数据)</p> <p> 备注:</p> <p>从机模式只读</p>
[5]	RSV	保留
[4]	I2CSTA	<p>主机模式:</p> <p>软件写 1, 硬件确认 SCL、SDA 全为高后开始发送 START 和地址字节。当发送完成后硬件自动清 0。在发送或接收数据的过程中, 禁止 I2Cx_SR[I2CSTA]写入。在数据发送或接收完毕后置 I2Cx_SR[I2CSTA] = 1, 发送 RESTART。</p> <p>0: 非 START 和地址字节</p> <p>1: 发送 START 或 RESTART 和地址字节</p> <p>从机模式:</p> <p>硬件收到 START 且地址字节匹配后置 1, 软件清 0</p>

		<p>从机模式 I2Cx_SR[I2CSTA]和 I2Cx_SR[I2CSTP]与当前 I²C 数据类型的关系如表 9-1 所示</p> <p style="text-align: center;">表 9-1 STA 和 STP 与当前 I²C 数据类型关系</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>I2CSTA</th> <th>I2CSTP</th> <th>I²C 数据类型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>数据字节</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>STOP</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>START + 地址字节</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>先收到 STOP 再收到 START + 地址字节</td> </tr> </tbody> </table> <p> 备注: 当 I2Cx_CR[I2CEN] = 0 时, I2Cx_SR[I2CSTA]自动清 0</p>	I2CSTA	I2CSTP	I ² C 数据类型	0	0	数据字节	0	1	STOP	1	0	START + 地址字节	1	1	先收到 STOP 再收到 START + 地址字节
I2CSTA	I2CSTP	I ² C 数据类型															
0	0	数据字节															
0	1	STOP															
1	0	START + 地址字节															
1	1	先收到 STOP 再收到 START + 地址字节															
[3]	I2CSTP	<p>主机模式: 当 I2Cx_SR[I2CBSY] = 1 时, 软件才能有效写 1, I2Cx_SR[STR]清 0 释放 SCL 开始发送 STOP。发送完 STOP 后硬件自动清 0。如果 I2Cx_SR[I2CSTA]和 I2Cx_SR[I2CSTP]同时写 1, 且 I2Cx_SR[I2CBSY] = 1, 则 I²C 先发送 STOP, 再发 START 和地址字节, START 和地址字节发送完成后 I2Cx_SR[STR]硬件置 1。在发送或接收数据的过程中, 禁止 I2Cx_SR[I2CSTP]写入。 0: 不发送 STOP 1: 发送 STOP</p> <p>从机模式: 硬件收到 STOP 后置 1, 软件清 0 状态标志位参考表 9-1</p> <p> 备注: 当 I2Cx_CR[I2CEN] = 0 时, I2Cx_SR[I2CSTP]会被硬件自动清 0</p>															
[2]	STR	<p>I²C 总线挂起标志位</p> <p>主机模式: 当硬件发送完 START 加地址字节或 DATA 字节后, I2Cx_SR[STR]硬件置 1, 同时 SCL 被拉低, I2Cx_SR[STR]软件清 0 后释放 SCL。 如果 I2Cx_SR[I2CSTA]和 I2Cx_SR[I2CSTP]同为 1, 则当硬件发送完 STOP 和 START 加地址字节后, I2Cx_SR[STR]才会置 1。</p> <p>从机模式:</p>															

		<p>当硬件接收完 START 且地址匹配或 DATA 字节后，I2Cx_SR[STR]硬件置 1，同时 SCL 被拉低，I2Cx_SR[STR]软件清 0 后释放 SCL。</p> <p> 备注: 该位硬件置 1，软件清 0。当 I2Cx_CR[I2CEN] = 0 时，I2Cx_SR[STR]自动清 0</p>
[1]	NACK	<p>I²C 传输完一个字节后，接收方向发送方的反馈。I2Cx_CR[I2CEN] = 0 时，该位自动清 0</p> <p>0: ACK，表示接收方可以继续接收数据 1: NACK，表示接收方希望停止数据传送</p> <p>当设备处于读模式，在接收完数据第 8 位后配置 I2Cx_SR[NACK]发送 ACK/NACK 0: 第 9 位发送 ACK 1: 第 9 位发送 NACK</p> <p>当设备处于写模式，在发送完数据第 8 位后读 I2Cx_SR[NACK]接收 ACK/NACK 0: 第 9 位收到的是 ACK 1: 第 9 位收到的是 NACK</p>
[0]	I2CIF	<p>I²C 中断事件标志位</p> <p>0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>当 I2Cx_SR[STR] = 1 时，在主机和从机模式下产生中断 当 I2Cx_SR[I2CSTP] = 1 时，在从机模式下产生中断</p>

9.3.5 I2Cx_BAUD (CSR:0x164/0x174)(n = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																								I2Cx_BAUD							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

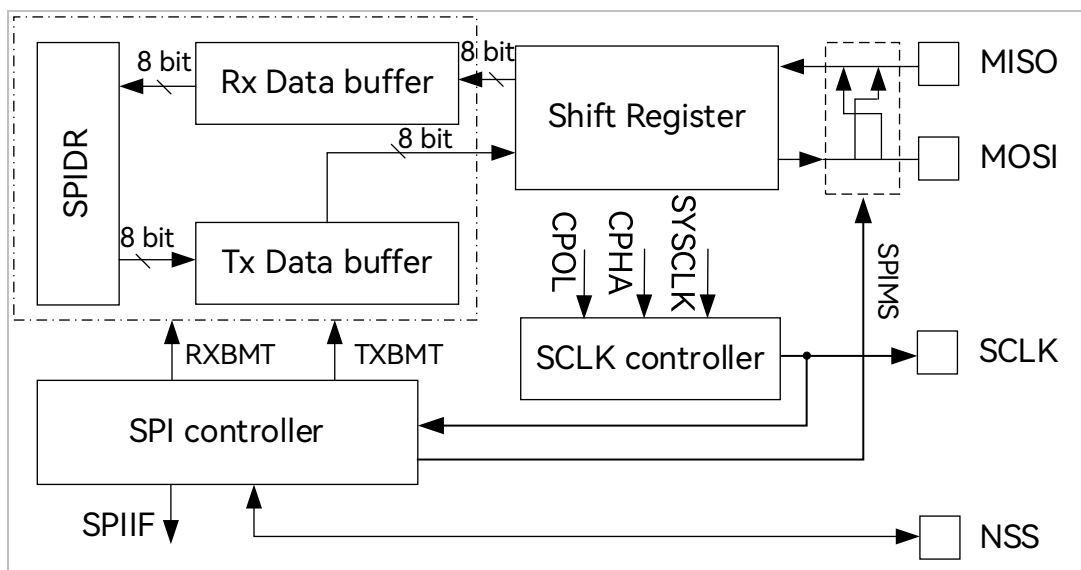
位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:0]	I2Cx_BAUD	I ² C 波特率控制，波特率 = I ² CxCLK / I2Cx_BAUD

10 SPI

10.1 SPI 简介

SPI 是一种高速全双工同步串行总线，其原理框图如图 10-1 所示。SPI 支持主机模式和从机模式，支持 3 线制或 4 线制传输模式，允许总线上存在多个主机和从机。

图 10-1 SPI 原理结构框图



10.2 SPI 操作说明

10.2.1 信号说明

SPI 所使用的 4 个信号为 MOSI、MISO、SCLK、NSS。

10.2.2 主输出、从输入(MOSI)

主出从入(MOSI)信号是主机的输出和从机的输入，用于从主机到从机的串行数据传输。数据传输时最高位在先，即按顺序将移位寄存器的 MSB 串行地送到 MOSI 引脚上。

10.2.3 主输入、从输出(MISO)

主入从出(MISO)信号是从机的输出和主机的输入。当 SPI 被禁止或工作在 4 线从模式而未被选中时，MISO 引脚被置于高阻态。当作为从机工作在 3 线模式或 4 线从模式被选中时，用于从机到主机的串行数

据传输。数据传输时最高位在先，即按顺序将移位寄存器的 MSB 串行地送到 MISO 引脚上。

10.2.4 串行时钟(SCLK)

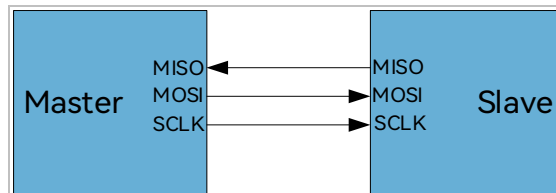
串行时钟(SCLK)信号是主机的输出和从机的输入，用于同步主机和从机之间的串行数据传输。SCLK 由工作在主机模式的 SPI 产生。在 4 线从模式，当从器件未被选中时(NSS = 1)，SCLK 信号被忽略。

10.2.5 片选信号(NSS)

片选信号(NSS)的功能通过 SPI1_CR[NSSMOD]配置，用于选择 SPI 的工作模式。SPI 工作模式包括 3 线模式、4 线从机/多主机模式及 4 线单主模式以及单线半双工模式（即三线制、四线制、半双工制）。当 SPI 工作在 4 线从机/多主机模式时，片选信号(NSS)被配置为输入以选择从机模式 SPI，或在多主模式中禁止总线某个 SPI 主机，避免两个以上主机试图同时进行数据传输时发生 SPI 总线冲突。当 SPI 工作在 4 线单主模式时，主机 NSS 被配置为片选输出。当 SPI 工作在 3 线模式时，NSS 被禁止。在主机模式，可以用其他通用端口 I/O 引脚选择多个从机。

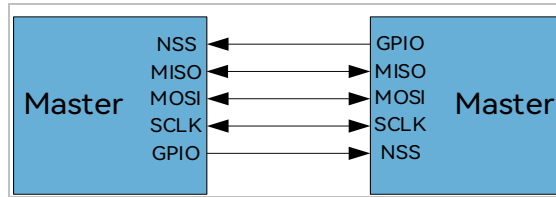
配置 SPI1_CR[NSSMOD] = 00 时，SPI 工作在 3 线模式。该工作模式无需 NSS 端口，SPI 总线上只有一个主机一个从机，连接方式如图 10-2 所示。

图 10-2 三线模式连接图



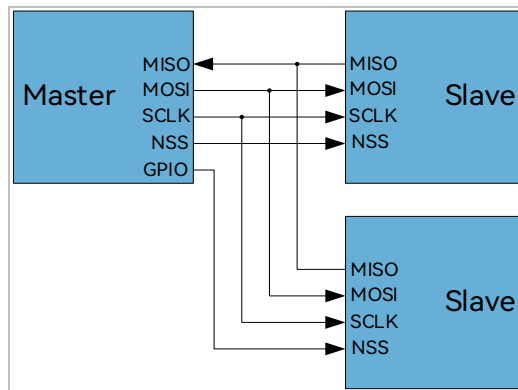
配置 SPI1_CR[NSSMOD] = 01 时，SPI 工作在 4 线从模式或多主模式。在该工作模式，SPI 的 NSS 端口为输入，等待主机寻址。配置 SPI1_CR[SPIMS] = 0，SPI1 工作在 4 线从机模式。当 NSS 输入信号为低电平时，从机 SPI1 被选通；当 NSS 输入信号为高电平时，从机 SPI1 不被选通。配置 SPI1_CR[SPIMS] = 1，SPI 工作在主机模式，默认为多主模式。在多主环境工作模式下，NSS 输入用于禁止 SPI 的主机模式。当总线上主机的 NSS 信号为低电平时，SPI1_CR[SPIMS]和 SPI1_CR[SPIEN]被硬件清 0，此模式下 SPI 无法以主机模式启动，同时中断标志位 SPI1_SR[MODF]被置 1。在这种情况下，需软件重新使能 SPI，才能继续 SPI 通讯。该工作模式，SPI 总线允许多个主机参与通信，其连接方式如图 10-3 所示。

图 10-3 四线多主机模式连接图



配置 SPI1_CR[NSSMOD] = 11 时，SPI 工作在 4 线单主模式。在该工作模式下，总线上主机 NSS 配置为输出，从机的 NSS 为输入。主机配置 SPI1_CR[NSSMOD0] 的设定值决定 NSS 引脚的输出电平，作为一个从机的选通信号，其它从机的选通可通过通用 I/O 来选择。4 线制单主机模式的连接如图 10-4 所示。

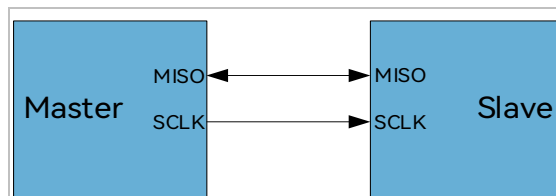
图 10-4 四线单主机模式连接图



10.2.6 单线半双工(SLINE)

配置 SPI1_CR[SLINE] = 1 时，SPI 工作在单线半双工模式。在该工作模式下，数据按顺序将移位寄存器的 MSB 串行的送到 MISO 引脚上。该模式还可以选择数据传输的方向，配置 SPI1_CR[SCKRQ] = 1 时，数据由从机进行传输，连线如图 10-5 所示。

图 10-5 单线半双工主机请求从机数据



10.2.7 SPI 主机模式

配置 SPI1_CR[SPIMS] = 1，SPI 工作在主机模式，为 SPI 总线提供 SCLK 信号，启动数据传输。在该模式下，SPI 会根据移位寄存器是否为空，控制 SPI 启动传输。当向 SPI1_DR 写入数据时，该数据首先被写入发送缓冲器，SPI1_SR[TXBMT]被清 0。如果移位寄存器为空，则发送缓冲器中的数据将会传送到移位寄

寄存器，传输开始。主机 SPI 串行地将移位寄存器 MSB 送到 MOSI 引脚上。传输结束后 SPI1_SR[SPIIF]和 SPI1_SR[TXBMT]将会被置 1。在全双工操作中，当 SPI 主机在 MOSI 线向从机发送数据时，被寻址的 SPI 从机可以同时在 MISO 线上向主机发送其移位寄存器中的内容。因此，SPI1_SR[SPIIF]标志既作为发送完成标志又作为接收数据准备就绪标志，移位寄存器的数据为 MISO 接收到的数据，该数据传送到接收缓冲器中。向 SPI1_DR 读取数据为接收缓冲器的数据。如果在 SPI1_SR[TXBMT] = 0 时向 SPI1_DR 写入数据，写冲突标志位 SPI1_SR[WCOL]被置 1，并保持发送缓冲器中的数据。

10.2.7.1 主机模式配置

1. 配置SPI1_CR[NSSMOD]，设置SPI工作模式；
2. 配置SPI1_CR[SLINE] = 1/0，设置为半双工/全双工工作模式；
3. 配置SPI1_CR[CPOL]，设置时钟极性；
4. 配置SPI1_CR[CPHA]，设置时钟相位；
5. 配置SPI1_CR[SPIMS] = 1，设置为主机模式；
6. 配置SPI1_CLK，设置SCLK频率；
7. 配置SPI1_CR[SPIEN] = 1，使能SPI；
8. 向SPI1_DR写入要发送的数据，每写一次，SPI将传输一次；
9. SPI1_SR[SPIIF]被置1后，读SPI1_DR获取接收到的数据。
10. 配置SPI1_CR[SCKRQ] = 1，在半双工工作模式下启动接收。

10.2.8 SPI 从机模式

配置 SPI1_CR[SPIMS] = 0 时，SPI 工作于从机模式。在该模式下，SPI 的 SCLK 信号将由主机提供，从 MOSI 接收数据，从 MISO 发送数据。当 SCLK 信号未输入时，从机移位寄存器处于停止状态。当 SCLK 信号输入时，从机的移位寄存器开始动作，通过 MOSI 和 MISO 开始接收和发送数据。从器件不能启动数据传送。通过写 SPI1_DR 预装要发送给主机的数据到发送缓冲器。如果移位寄存器为空，发送缓冲器中的数据会立即被传送到移位寄存器。当传输完成后，SPI1_SR[SPIIF]和 SPI1_SR[TXBMT]被置 1，接收到的字节被传送到接收缓冲器，且接收缓冲器空标志位 SPI1_SR[RXBMT]被清 0，表示当前有未读数据。如果 SPI1_SR[RXBMT] = 0 且此时有新的数据准备送入接收缓冲器，则 SPI1_SR[RXOVRN]将会被置 1，且

接收缓冲器中的数据不变。当向 SPI1_DR 写入数据时 SPI1_SR[TXBMT]被清 0。如果此时再写入数据，写冲突标志位 SPI1_SR[WCOL]被置 1，并保持发送缓冲器中的数据。

10.2.8.1 从机模式配置

1. 配置SPI1_CR[NSSMOD]，设置SPI工作模式；
2. 配置SPI1_CR[SLINE] = 1/0，设置为半双工/全双工工作模式；
3. 配置SPI1_CR[CPOL]，设置时钟极性；
4. 配置SPI1_CR[CPHA]，设置时钟相位；
5. 配置SPI1_CR[SPIMS] = 0，设置为从机模式；
6. 配置SPI1_CR[SPIEN] = 1，使能SPI；
7. 向SPI1_DR写入操作数据，等待主机发送时钟信号。

10.2.9 SPI 中断源

SPI 的中断源有：

- > 每次字节传输结束时，SPI中断标志位SPI1_SR[SPIIF]被置1。
- > 如果在发送缓冲器中的数据尚未被传送到移位寄存器时写SPI1_DR，写冲突标志位SPI1_SR[WCOL]被置1且写SPI1_DR的操作被忽略。
- > 当SPI被配置为工作于多主系统中的主机而NSS被拉低时，模式错误标志位SPI1_SR[MODF]被置1。当发生模式错误时，SPI1_CR[SPIMS]和SPI1_CR[SPIEN]位被清0，SPI被禁止以允许另一个主机控制总线。
- > 当SPI被配置为从机并且一次传输结束，接收缓冲器中还保持着上一次传输的数据未被读取时，接收溢出标志位SPI1_SR[RXOVRN]被置1。新接收的数据将不被传送到接收缓冲器。

10.2.10 串行时钟时序

配置 SPI1_CR 中相位和空闲电平选择位可以实现串行时钟相位和空闲电平的 4 种组合。SPI1_CR[CPHA]选择时钟相位(移位寄存器数据跳变时的 SCLK 信号边沿)。SPI1_CR[CPOL]选择空闲电平。主机和从机配置必须一致。配置时钟相位和空闲电平时应禁止 SPI 使能(即 SPI1_CR[SPIEN] = 0)。相位和空闲电平组合下时钟线和数据线的时序关系如图 10-6 和图 10-7。

图 10-6 数据/时钟时序图(SPI1_CR[CPHA] = 0)

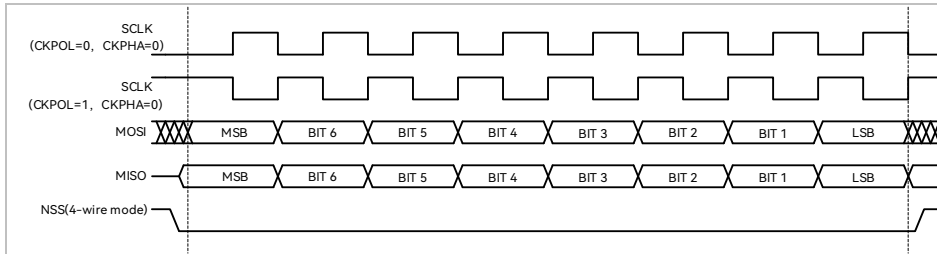
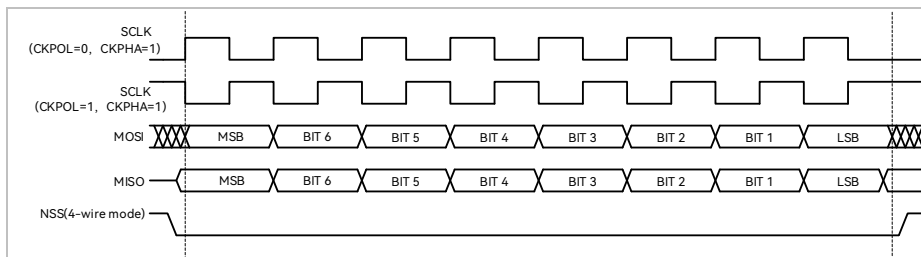


图 10-7 数据/时钟时序图(SPI1_CR[CPHA] = 1)





10.3 SPI 寄存器

10.3.1 SPI1_CR (CSR:0x180)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
RSV																						SAMSEL	SCKRQ	CPHA	CPOL	NSSMOD		SPINE	SPIIE	SPIMS	SPIEN						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	r0w1	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留
[9]	SAMSEL	SPI 主机沿边采样选择 0: 主机正常采样 1: 主机推迟半个 SCLK 周期采样
[8]	SCKRQ	单线主机请求从机数据使能位 0: 不使能 1: 使能
[7]	CPHA	时钟相位

		<p>0: 在 SCLK 有效电平的前沿接收数据, 后沿发送数据 1: 在 SCLK 有效电平的前沿发送数据, 后沿接收数据</p> <p> 备注:</p> <ul style="list-style-type: none"> > 00: 上升沿接收, 下降沿发送, 空闲电平为低; > 01: 上升沿发送, 下降沿接收, 空闲电平为高; > 10: 上升沿发送, 下降沿接收, 空闲电平为低; > 11: 上升沿接收, 下降沿发送, 空闲电平为高。
[6]	CPOL	<p>时钟空闲电平 0: 低电平为空闲电平 1: 高电平为空闲电平</p> <p> 备注:</p> <ul style="list-style-type: none"> > 00: 上升沿接收, 下降沿发送, 空闲电平为低; > 01: 上升沿发送, 下降沿接收, 空闲电平为高; > 10: 上升沿发送, 下降沿接收, 空闲电平为低; > 11: 上升沿接收, 下降沿发送, 空闲电平为高。
[5:4]	NSSMOD	<p>SPI 模式配置 00: 3 线从模式或 3 线主模式。NSS 信号不连到端口引脚; 01: 4 线从模式或多主模式(默认值)。NSS 端口为输入; 1x: 4 线单主模式。NSS 端口为输出状态并输出 NSSMOD0 的值。</p>
[3]	SLINE	<p>单线半双工使能位 0: 不使能 1: 使能</p>
[2]	SPIIE	<p>中断使能位 0: 不使能 1: 使能</p>
[1]	SPIMS	<p>主从机选择 0: 从机 1: 主机</p>
[0]	SPIEN	<p>SPI 使能 0: 不使能 1: 使能</p>

10.3.2 SPI1_SR (CSR:0x181)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
RSV																						SLVSEL	NSSIN	SRMT	RXBMT	TXBMT	SPIBSY	SPIIF	WCOL	MODF	RXOVRN						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	r	r	r	r	rw0	rw0	rw0	rw0						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0						

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留
[9]	SLVSEL	NSS 片选标志位 当 NSS 引脚滤波后的信号为低电平时该位被置 1，表示被选中为从机。当信号为高电平时该位被清 0，表示未被选中为从机。 0: 未被选中为从机 1: 被选中为从机
[8]	NSSIN	NSS 实时信号，该信号未滤波
[7]	SRMT	移位寄存器空标志位(只在从机模式时有效) 0: 数据从发送缓冲器传送到移位寄存器或 SCLK 发生变化 1: 移位寄存器没有数据且发送和接收缓冲器均没有数据  备注: 在主模式时，SPI1_SR[SRMT] = 1
[6]	RXBMT	接收缓冲器空标志位(只在从机模式时有效) 0: 存在新数据未被读取 1: 数据被读取且没有新数据  备注: 在主模式时 SPI1_SR[RXBMT] = 1
[5]	TXBMT	发送缓冲器空标志位 当新数据被写入发送缓冲器时，该位被清 0。当发送缓冲器中的数据被传送到 SPI 移位寄存器时，该位被置 1，表示可以向发送缓冲器写新数据。 0: 存在新数据写入发送缓冲器 1: 发送缓冲器数据已传送到移位寄存器
[4]	SPIBSY	忙标志位

		<p>0: 没有 SPI 传输 1: 正在进行 SPI 传输</p>
[3]	SPIIF	<p>SPI 中断事件标志位 每次传输完一个数据(8 位)之后, 此位将由硬件置 1</p> <p>读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写: 0: 清 0 1: 无意义</p>
[2]	WCOL	<p>写冲突中断事件标志位 当 SPI1_SR[TXBMT]为 0 时, 写入 SPI1_DR, 则此位被置 1 此位必须由软件清 0</p> <p>读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写: 0: 清 0 1: 无意义</p>
[1]	MODF	<p>主机模式错误中断事件标志位 当检测到主机模式冲突的时候, 此位置 1(SPI1_SR[NSSIN] = 0, SPI1_CR[SPIMS] = 1 且 SPI1_CR[NSSMOD] = 01) 此位必须由软件清 0</p> <p>读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写: 0: 清 0 1: 无意义</p>
[0]	RXOVRN	<p>接收溢出中断事件标志位(只在从机模式下有效) 当前传输的最后一位已经移入 SPI 移位寄存器, 而接收缓冲器中仍保存着前一次传输未被读取的数据时该位由硬件置 1(并产生一个 SPI 中断)。该位不会被硬件自动清 0, 必须用软件清 0。</p> <p>读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写:</p>

0: 清 0
1: 无意义

10.3.3 SPI1_CLK (CSR:0x182)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																								SPICLK							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[7:0]	SPICLK	<p>SPI 波特率设置 主机模式有效，仅在 SPI1_CR[SPIEN] = 0 时可写 波特率 = SPI1CLK/2/(SPICLK + 1)</p> <p> 备注:</p> <ul style="list-style-type: none"> > 开启SPI1_CR[SAMSEL]配置: <ul style="list-style-type: none"> >> SPI 主机发送上限波特率: SYSCLK/2 >> SPI 主机接收上限波特率: SYSCLK/4 >> SPI 从机发送上限波特率: SYSCLK/4 >> SPI 从机接收上限波特率: SYSCLK/4 > 不开启SPI1_CR[SAMSEL]配置: <ul style="list-style-type: none"> >> SPI 主机发送上限波特率: SYSCLK/2 >> SPI 主机接收上限波特率: SYSCLK/6 >> SPI 从机发送上限波特率: SYSCLK/10 >> SPI 从机接收上限波特率: SYSCLK/10

10.3.4 SPI1_DR (CSR:0x183)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
RSV																SPIDR																			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[7:0]	SPIDR	SPI 数据寄存器 SPI1_DR 寄存器用于发送和接收 SPI 数据 读: 接收缓冲器中的数据 写: 写入数据送至发送缓冲器并启动发送

11 UART

11.1 UART1 和 UART2 简介

UART 是一种全双工或半双工串行数据交换接口，如图 11-1 所示。传输波特率可配置并支持 DMA 功能传输数据。UART 通信时序如图 11-2 所示。

图 11-1 通信模块构造框图

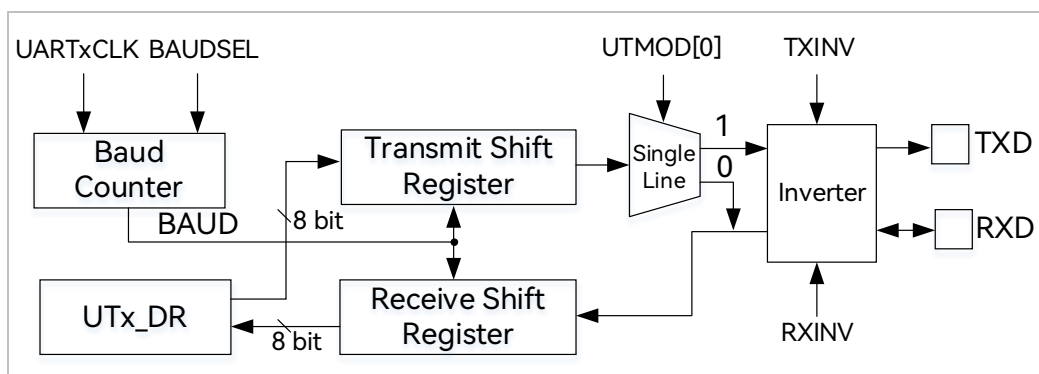
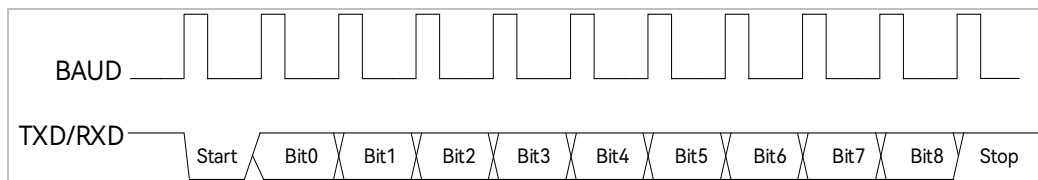


图 11-2 通信时序图



11.2 UART1 和 UART2 操作说明

11.2.1 模式 0

模式 0 工作于单线制半双工模式。RXD 既为发送数据总线，又为接收数据总线。收发数据为 10 位(1 位启动、8 位数据、1 位停止)，若开启奇偶校验模式，则额外增加一位校验位，波特率由 $UTx_BAUD[BAUD]$ 决定。

发送数据: 将发送的数据写入 UTx_DR 并将 $UTx_CR0[UTTI]$ 清 0，RXD 将输出 10 位数据，若开启奇偶校验，则在数据位后增加一位校验位。发送完成后 $UTx_CR0[UTTI]$ 置 1。

接收数据: 配置 $UTx_CR0[REN] = 1$ 启动接收并将 $UTx_CR0[UTRI]$ 清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后， $UTx_CR0[UTRI]$ 置 1，读取 UTx_DR 得到接收到的数据，若开启校验模式，则将校验结果存入

UTx_CR0[CHKERR]。

11.2.2 模式 1

模式 1 工作模式为全/半双工。在该模式下 TXD 为发送数据总线，RXD 为接收数据总线，收发数据为 10 位(1 位启动、8 位数据、1 位停止)，若开启奇偶校验模式，则额外增加一位校验位，波特率由 UTx_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送的数据写入 UTx_DR 并将 UTx_CR0[UTTI]清 0，TXD 将输出 10 位数据，若开启奇偶校验，则在数据位后增加一位校验位。发送完成后 UTx_CR0[UTTI]置 1。

接收数据: 配置 UTx_CR0[REN] = 1 启动接收并将 UTx_CR0[UTRI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UTx_CR0[UTRI]被置 1，读取 UTx_DR 会得到接收到的，数据若开启校验模式，会将校验结果存入 UTx_CR0[CHKERR]。

11.2.3 模式 2

模式 2 工作于单线制半双工模式。RXD 既为发送数据总线，又为接收数据总线，收发数据为 11 位(1 位启动、9 位数据、1 位停止)，若开启奇偶校验，第 9 位数据变为校验位，波特率由 UTx_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送数据前 8 位写入 UTx_DR，第 9 位写入 UTx_CR1[CHKMOD]并将 UTx_CR0[UTTI]清 0，TXD 将输出 11 位数据。发送完成后 UTx_CR0[UTTI]被置 1。

接收数据: 配置 UTx_CR0[UTREN] = 1 启动接收并将 UTx_CR0[UTRI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UTx_CR0[UTRI]被置 1，UTx_CR0[UTRB8]存放第 9 位数据，UTx_DR 存放前 8 位的数据，数据若开启校验模式，会将校验结果存入 UTx_CR0[CHKERR]。

11.2.4 模式 3

模式 3 工作于全/半双工模式。TXD 为发送数据总线，RXD 为接收数据总线，收发数据为 11 位(1 位启动、9 位数据、1 位停止)，若开启奇偶校验，第 9 位数据变为校验位，波特率由 UTx_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送数据前 8 位写入 UTx_DR，第 9 位写入 UTx_CR1[CHKMOD]并将 UTx_CR0[UTTI]清 0，TXD 将输出 11 位数据。发送完成后 UTx_CR0[UTTI]被置 1。

接收数据: 配置 UTx_CR0[UTREN] = 1 启动接收并将 UTx_CR0[UTRI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UTx_CR0[UTRI]被置 1，UTx_CR0[UTRB8]存放第 9 位数据，UTx_DR 存放前 8 位的数据，数据若开启校验模式，会将校验结果存入 UTx_CR0[CHKERR]。

11.3 UART1 和 UART2 中断源

UART 中断源有:

- > UTx_CR0[UTTI]: UARTx发送完1组数据后, 发送完成中断事件标志位UTx_CR0[UTTI]硬件置1
- > UTx_CR0[UTRI]: UARTx接收完1组数据和STOP停止位后, 接收完成中断事件标志位UTx_CR0[UTRI]硬件置1
- > UTx_CR0[RTO]: UARTx在一定时间内未接收到数据时, 会触发中断事件标志位UTx_CR0[RTO]。

11.4 UART 寄存器

11.4.1 UTx_CR0 (CSR:0x0140/0x150)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
RSV																						RTO	CHKERR	UTRB8	UTMOD	UTSM2	UTREN	UTEN	UTTI	UTRI							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	w	w	w	w	w	w	w	w	w					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留
[9]	RTO	接收超时中断事件标志位 读: 0: 未超时 1: 接收超时 写: 0: 清 0 1: 产生中断事件
[8]	CHKERR	校验错误
[7]	UTRB8	模式 2 与模式 3 下接收数据的第 9 位
[6:5]	UTMOD	模式配置位 00: 模式 0 01: 模式 1 10: 模式 2 11: 模式 3

[4]	UTSM2	单机通信和多机通信选择 0: 单机通信 1: 多机通信
[3]	UTREN	UARTx 接收使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	UTEN	UARTx 使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	UTTI	数据发送完成中断事件标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 产生中断事件
[0]	UTRI	数据接收完成中断事件标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 产生中断事件

11.4.2 UT_x_CR1 (CSR:0x0141/0x151)(x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
RSV																					RTOIE	UTIE	BAUDSEL	RXINV	TXINV	RSV		RTOSEL		CHKMOD							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	-	-	rW	rW	rW	rW						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0					

位	名称	描述
[31:11]	RSV	保留
[10]	RTOIE	接收超时中断使能 0: 不使能


		1: 使能
[9]	UTIE	收发中断使能 0: 不使能 1: 使能
[8]	BAUDSEL	波特率倍频使能 0: 不使能 1: 使能
[7]	RXINV	接收反向使能 0: 不使能 1: 使能
[6]	TXINV	发送反向使能 0: 不使能 1: 使能
[5:4]	RSV	保留
[3:2]	RTOSEL	接收超时挡位选择 00: 1 帧报文 01: 2 帧报文 10: 4 帧报文 11: 8 帧报文
[1:0]	CHKMOD	手动发送第九位及奇偶校验位 00: 手动模式 TB9 = 0 01: 偶校验 10: 奇检验 11: 手动模式 TB9 = 1

11.4.3 UT_x_DR (CSR:0x0142/0x152)(x = 1/2)

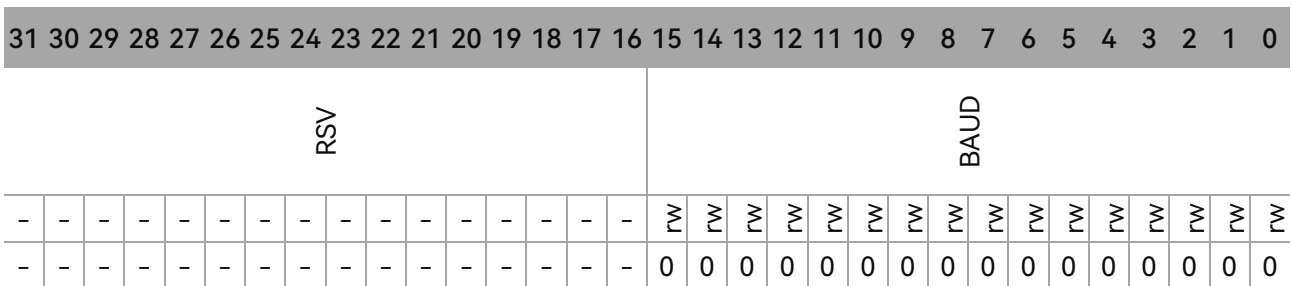
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

RSV																						UT _x _DR								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:0]	UT _x _DR	发送/接收数据 读: 接收的数据

		<p>写: 发送的数据</p> <p> 备注:</p> <p>UARTx 的数据缓冲器由 2 个互相独立的接收、发送缓冲器构成, 可以同时发送和接收数据。发送缓冲器只能写入而不能读出, 接收缓冲器只能读出而不能写入, 因而两个缓冲器可以共用一个地址码。</p>
--	--	--

11.4.4 UTx_BAUD (CSR:0x0143/0x153)(x = 1/2)



位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	BAUD	波特率设置 波特率 = $UARTxCLK / (16 / (1 + UTx_BAUD[BAUD])) / (UTx_CR1[BAUDSEL] + 1)$

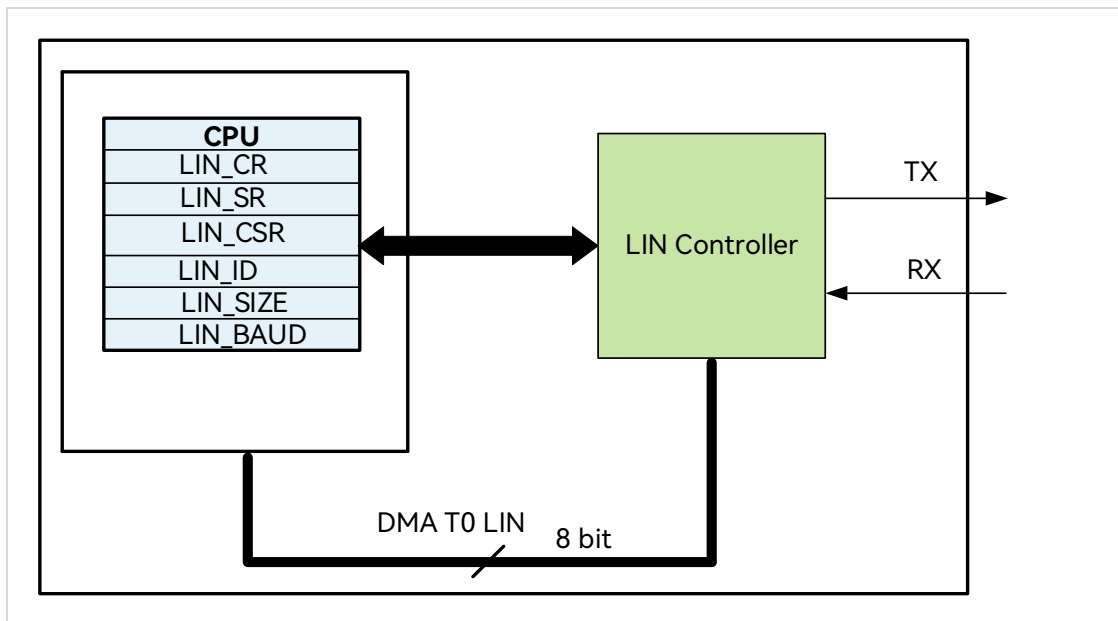
12 LIN

12.1 LIN 简介

有关 LIN 协议的更多信息与规范，请参考 LIN 协会(<http://www.lin-subbus.org>)。

LIN 是一种异步串行通信接口，主要用于汽车网络。LIN 控制器符合 ISO 17987(向下兼容)，如图 12-1 所示，具有完整的 LIN 硬件接口，固定工作在从机模式，支持波特率自适应。引脚复用 PA0/PA1、PA4/PA5(功能转移)；LIN 与 DMA 传输数据，配置 DMAx_CR[DMACFG] = 0111，读写方向由 LIN_CR[LINRW]决定。

图 12-1 LIN 框图



如图 12-1 所示，LIN 控制器包括三个部分：

- > LIN 控制寄存器: 提供 CPU 与 LIN 控制器之间的接口
- > LIN 数据缓存: 通过配置 DMAx(x = 0~5) 可实现数据的发送和接收
- > LIN 控制器: 用于处理 LIN 总线的数据传输及状态控制

12.2 LIN 从机操作说明

LIN 工作在从机节点时，必须等待主机节点发送命令。

LIN 中断使能后，如表 12-1 所示 7 种情况会触发中断。

表 12-1 LIN 中断源及说明

中断源	说明	相关标志位	清除标志位
总线空闲	总线空闲超过 4s	LIN_SR[LINIDLE]	LIN_SR[LINIDLE]清 0
外部唤醒	接收到唤醒信号	LIN_CSR[LINWAKEUP]	LIN_CSR[LINWAKEUP]清 0
接收到间隔场	接收到间隔场上升沿	LIN_SR[BREAKFLAG]	LIN_SR[BREAKFLAG]写 0
同步完成	同步场无错误且同步完成	LIN_SR[SYSCFLAG]	LIN_SR[SYSCFLAG]写 0
接收到帧头	当收到帧头且 ID 校验正确	LIN_SR[LINREQ]	LIN_SR[LINACK]写 1/ LIN_SR[LINREQ]清 0/ 发现新的帧头
收发数据完成	从机接收或者发送数据完成	LIN_SR[LINDONE]	LIN_SR[LINDONE]清 0/ 发现新的帧头
出现错误	形式错误 位错误 同步错误 ID 校验错误 数据校验错误	LIN_SR[ERRFRAME] LIN_SR[ERRBIT] LIN_SR[ERRSYNC] LIN_SR[ERRPRTY] LIN_SR[ERRCHK]	LIN_SR[LINERR]清 0/ 发现新的帧头

从机数据传输和接收流程:

1. LIN 控制器需提前配置波特率模式，并根据配置的模式选择性配置波特率寄存器，具体参考 12.5。
2. LIN 控制器检测 LIN 总线上主机发送的消息帧的报头(间隔和同步信号)，若同步场符合最低长度标准，LIN_SR[BREAKFLAG]被置 1。通过同步信号自动匹配主机传输数据的波特率，若同步成功，LIN_SR[SYSCFLAG]被置 1。当从机识别到 ID 后，如果 ID 校验正确，LIN_SR[LINREQ]被置 1，如果 ID 校验错误，则会发生 ID 校验错误，LIN_SR[ERRPRTY]被置 1；
3. 从机发送操作: 将 LIN_CR[LINRW]置 1，装载数据长度 LIN_SIZE 和 DMA 缓冲区数据。将 LIN_CSR[LINACK]置 1，响应帧头将数据传输至主机；
4. 从机接收操作: 将 LIN_CR[LINRW]清 0，将 LIN_CSR[LINACK]置 1，响应帧头将接收主机发送的数据；
5. 从机接收或发送数据完成后，LIN_SR[LINDONE]被置 1。

12.3 睡眠和唤醒

为了减少系统功耗，LIN 总线协议定义了睡眠模式。

从机接收到主机发送的睡眠请求命令并正确解析后，软件将 LIN_CSR[LINSLP]置 1 进入睡眠模式。

当总线上空闲超过 4s 且从机 LIN 没有处于睡眠模式时，LIN_SR[LINIDLE]被置 1。此时可假定 LIN 总线进入休眠模式，将 LIN_CSR[LINSLP]置 1 进入睡眠模式。

当检测到 LIN 总线上主机或其它从机发出的唤醒信号后(LIN_SR[LINWAKEUP]被置 1)，自动退出睡眠模式。从机也可发送唤醒信号(将 LIN_CSR[TXWAKEUP]置 1)唤醒主机或者其它从机。

12.4 错误侦测与处理

从机检测到错误后，LIN_SR[LINERR]被置 1 并生成错误中断请求，同时停止当前帧的处理。程序通过 LIN_SR[ERRFRAME]、LIN_SR[ERRBIT]、LIN_SR[ERRSYNC]、LIN_SR[ERRCHK]和 LIN_SR[ERRPRTY]来判别错误为格式错误、位错误、同步错误、数据校验错误或 ID 校验错误。错误处理完成后将 LIN_SR[LINERR]标志位清 0。

12.5 波特率模式切换

LIN 模块可选择自动波特率模式和手动波特率模式。

自动波特率模式：LIN 模块以 20k 频率持续监测 LIN 总线，仅当检测到大于 12bit 的间隔场时，LIN 模块才会启动收发报文流程。在同步场段检测到“0x55”的字段后，根据字段时间长度计算出 LIN 报文的波特率。若同步场波形不符合规范，会产生同步错误(默认使能，配置 LIN_CR[AB_SCHKERRDIS] = 1 不使能检测)。同步成功后，LIN 模块根据同步后的波特率收发后续报文。用户可以通过 LIN_IDLECNT 计数值和 LIN 识别的波特率值判断间隔场的长度。

手动波特率模式：在使能 LIN 模块以后，将 LIN_CR[MBAUD]置 1，再于 LIN_BAUD 寄存器中写入需要的波特率值(1000-20000)。接收波特率范围为配置波特率的 $\pm 10\%$ 。LIN 模块依据写入的波特率进行报文接收，波特率不匹配的报文会报同步错误，并停止对当前报文的接收。

12.6 其它事项

从机 LIN 使能后，当设备不处于睡眠模式，可以检测新的帧头(包括同步间隔、同步场以及 PID)。LIN 总线空闲时，LIN_CNT 开始计数，计数时钟频率为 32768Hz，帧间时长可通过寄存器 LIN_IDLECNT 查看；当收发报文时，计数器清 0。

从机在接收/发送数据的过程中，如果需要终止当前帧处理，可以将 LIN_CSR[LINSTOP]置 1，此时标志位 LIN_SR[ABORT]会被置 1。

12.7 LIN 寄存器

12.7.1 LIN_CR (CSR:0x1A0)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
																						AB_SCHKERRDIS	AB_ERRINTEN	AUTOBAUDINIT	MBAUD							
																						rw	rw	rw1	rw							
																						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:11]	RSV	保留
[10]	AB_SCHKERRDIS	LIN 自动波特率同步场错误检测禁止 自动波特率下 LIN 识别同步场波形是否符合规范，若波形不符合规范，会产生同步错误 0: 使能 1: 不使能
[9]	AB_ERRINTEN	LIN 自动波特率错误初始化使能 自动波特率下 LIN 检测到错误后，重新以 20kHz 探测 LIN 报文 0: 不使能 1: 使能
[8]	AUTOBAUDINIT	LIN 自动波特率初始化触发 自动波特率模式下，该位置 1 后，LIN 重新以 20kHz 探测 LIN 报文 0: 无意义 1: 触发 LIN 自动波特率初始化
[7]	MBAUD	手动波特率模式 0: 自动波特率模式 1: 手动波特率模式
[6:4]	RSV	保留
[3]	LINIE	LIN 中断使能

		0: 不使能 1: 使能  备注: LIN 中断标志位见表 12-1 LIN 中断源及说明
[2]	CHKMOD	校验模式配置 0: 增强校验 1: 标准校验
[1]	LINRW	发送/接收选择位 0: 当前帧是接收操作 1: 当前帧是发送操作
[0]	AUTOSIZE	使用 ID 位(LIN_ID[5:4])确定数据长度使能 0: 不使能 1: 使能 LIN_ID[5:4]与数据长度的关系如下: 0X: 2 字节 10: 4 字节 11: 8 字节

12.7.2 LIN_SR (CSR:0x1A1)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
RSV																		SYSCFLAG	BREAKFLAG	ERRFRAME	ERRBIT	ERRSYNC	ERRPTY	ERRCHK	ABORT	LINACT	LINERR	LINWAKEUP	LINDLE	LINDONE	LINREQ			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw0	rw0	rw	rw	rw	rw	rw	r	rw	rw	rw	rw	rw			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13]	SYSCFLAG	LIN 同步完成标志位 读: 0: 同步中/未进行同步 1: 同步完成 写: 0: 清同步完成标志位

		1: 无意义
[12]	BREAKFLAG	LIN 间隔场识别标志位 读: 0: 未识别到间隔场 1: 识别到间隔场 写: 0: 清间隔场识别标志位 1: 无意义
[11]	ERRFRAME	格式错误, LIN 使能回读功能 LIN_CSR[RDBAKDIS], 若 LIN 发送的电平与接收 LIN 总线电平不等时, 该位置 1 0: 未发生格式错误 1: 发生格式错误
[10]	ERRBIT	回读位错误, LIN 使能回读功能 LIN_CSR[RDBAKDIS], 若 LIN 发送的电平与接收 LIN 总线电平不等时, 该位置 1 0: 未发生位错误 1: 发生位错误
[9]	ERRSYNC	同步错误(同步超时或同步过快), 在新帧到来或者 LIN_SR[LINERR]被清 0 时, 该位被硬件清 0 0: 未发生同步错误 1: 发生同步错误
[8]	ERRPRTY	ID 校验错误, 在新帧到来或者 LIN_SR[LINERR]被清 0 时, 该位被硬件清 0 0: 未发生 ID 校验错误 1: 发生 ID 校验错误
[7]	ERRCHK	数据校验错误, 在新帧到来或者 LIN_SR[LINERR]被清 0 时, 该位被硬件清 0 0: 未发生数据校验错误 1: 发生数据校验错误
[6]	ABORT	传输完成中断事件标志位 从机接收或者发送数据完成被置 1, 在新帧到来时或者 LIN_SR[LINDONE] 软件写 0 时清 0 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[5]	LINACT	LIN 总线上处于活动状态标志位 0: 总线未处于活动状态 1: 总线处于活动状态
[4]	LINERR	LIN 错误中断事件标志位

		读: 0: 未发生错误 1: 发生错误 写: 0: 清除错误标志位 1: 无意义
[3]	LINWAKEUP	LIN 总线唤醒中断事件标志位 总线空闲超过 4s 时被置 1 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[2]	LINIDLE	LIN 总线空闲中断事件标志位 总线空闲超过 4s 时被置 1 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[1]	LINDONE	传输完成中断事件标志位 从机接收或者发送数据完成被置 1, 在新帧到来时或者 LIN_SR[LINDONE] 软件写 0 时清 0 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[0]	LINREQ	收到帧头中断事件标志位 当收到帧头且 ID 校验正确时置 1, 在新帧到来时、LIN_CSR[LINACK]软件 写 1 时或 LIN_SR[LINREQ]软件写 0 时清 0 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件

写:
0: 清 0
1: 无意义

12.7.3 LIN_CSR (CSR:0x1A2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
																									RDBAKDIS	LINSLP	RSV	TXWAKEUP	LINACK	LINSTOP	LINEN
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	-	r	w	w	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:7]	RSV	保留
[6]	RDBAKDIS	LIN 回读使能 0: 使能 1: 不使能
[5]	LINSLP	LIN 进入睡眠状态使能 读: 0: LIN 处于活动状态 1: LIN 处于睡眠状态 写: 0: LIN 从睡眠状态中唤醒 1: LIN 进入睡眠状态
[4]	RSV	保留
[3]	TXWAKEUP	LIN 唤醒 写: 0: 无意义 s 1: 发送唤醒信号
[2]	LINACK	用于响应帧头, 在该位置 1 前必须配置好校验模式、读写模式、数据、数据长度 0: 无意义 1: 响应帧头
[1]	LINSTOP	停止信号, 该位置 1 后, LIN 会中断当前的数据收发工作并等待新的帧头。同时 LIN_SR[ABORT]置 1 0: 无意义

		1: 中断当前的数据收发工作并等待新的帧头
[0]	LINEN	LIN 使能 0: 不使能 1: 使能

12.7.4 LIN_ID (CSR:0x1A3)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																										LIN_ID					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

位	名称	描述
[31:6]	RSV	保留
[5:0]	LIN_ID	LIN 接收到的 ID

12.7.5 LIN_SIZE (CSR:0x1A4)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																										LIN_SIZE					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

位	名称	描述
[31:4]	RSV	保留
[3:0]	LIN_SIZE	接收/发送数据帧长度

12.7.6 LIN_BAUD (CSR:0x1A5)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																LIN_BAUD															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	LIN_BAUD	波特率配置 波特率 = LINCLK/(LIN_BAUD + 1)

12.7.7 LIN_CNT (CSR:0x1A6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV															LIN_CNT																
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:17]	RSV	保留
[16:0]	LIN_CNT	LIN 空闲计数器 正在计数的瞬间值，计时长度 = LIN_CNT / 32768Hz

12.7.8 LIN_IDLECNT (CSR:0x1A7)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV															LIN_IDLECNT																
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:20]	RSV	保留
[19:0]	LIN_IDLECNT	LIN 间隔场计数值，计时长度 = IDLECNT / SYSCLK

13 CAN

13.1 CAN 简介

CAN 是 Controller Area Network 的缩写(以下称为 CAN)，是 ISO 国际标准化的串行通信协议，为汽车网络提供安全、方便、可靠的数据通讯。

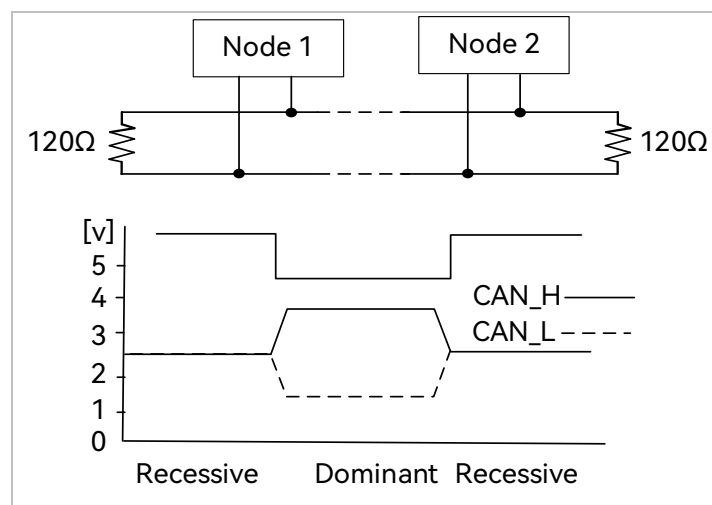
CAN 总线控制器作为 CAN 网络接口，遵循 CAN 总线协议 2.0A、2.0B、ISO11898-1:2015 和 BOSCH CANFD 规范。CAN 控制器报文过滤支持单/双过滤两种模式，过滤器用于筛选并接收用户需要的消息。用户可以通过 3 个发送邮箱将待发送数据传输至总线，邮箱发送的顺序由发送调度器决定。并通过深度为 3 的接收 FIFO 获取总线上的数据，接收 FIFO 的管理完全由硬件控制。同时 CAN 总线控制器硬件支持时间触发通信 (Time-trigger communication) 功能。

13.2 物理特性

CAN 控制器根据两根线上的电位差来判断总线电平。总线电平分为显性电平 (dominant) 和隐性电平 (recessive)，二者必居其一。发送方通过使总线电平发生变化，将消息发送给接收方。

根据 ISO11898 标准，其物理层特征如图 13-1 ISO11898 物理层特性所示：

图 13-1 ISO11898 物理层特性



从该特性可以看出，显性电平对应逻辑 0，CAN_H 和 CAN_L 之差为 2.5V 左右。而隐性电平对应逻辑 1，CAN_H 和 CAN_L 之差为 0V。在总线上显性电平具有优先权，只要有一个单元输出显性电平，总线上即

为显性电平。而隐性电平具有包容性，只有所有的单元都输出隐性电平，总线上才为隐性电平(显性电平比隐性电平更强)。另外，在 CAN 总线的起止端都有一个 120Ω 的终端电阻，来做阻抗匹配，以减少回波反射。

13.3 帧结构

CAN 协议是通过以下 5 种类型的帧进行(CANFD 没有远程帧):

- > 数据帧
- > 远程帧
- > 错误帧
- > 过载帧
- > 帧间隔

另外，数据帧和遥控帧有标准格式和扩展格式两种格式。标准格式有 11 个位的 ID，扩展格式有 29 个位的 ID。

表 13-1 CAN 协议各种帧及其用途

帧类型	帧用途
数据帧	用于发送单元向接收单元传送数据的帧
远程帧	用于接收单元向具有相同 ID 的发送单元请求数据的帧，CANFD 没有远程帧
错误帧	用于当检测出错误时向其它单元通知错误的帧
过载帧	用于接收单元通知其尚未做好接收准备的帧
帧间隔	用于将数据帧及远程帧与前面的帧分离开来的帧

由于篇幅所限，这里仅对数据帧进行介绍，数据帧一般由 7 个段构成，即:

- > 帧起始: 表示数据帧开始的段
- > 仲裁段: 表示该帧优先级的段
- > 控制段: 表示数据的字节数及保留位的段
- > 数据段: 数据的内容，一帧可发送 0 ~ 8 个字节的数据
- > CRC段: 检查帧的传输错误的段
- > ACK段: 表示确认正常接收的段

> 帧结束: 表示数据帧结束的段

数据帧的构成如图 13-2 所示。

图 13-2 CAN 标准帧结构图

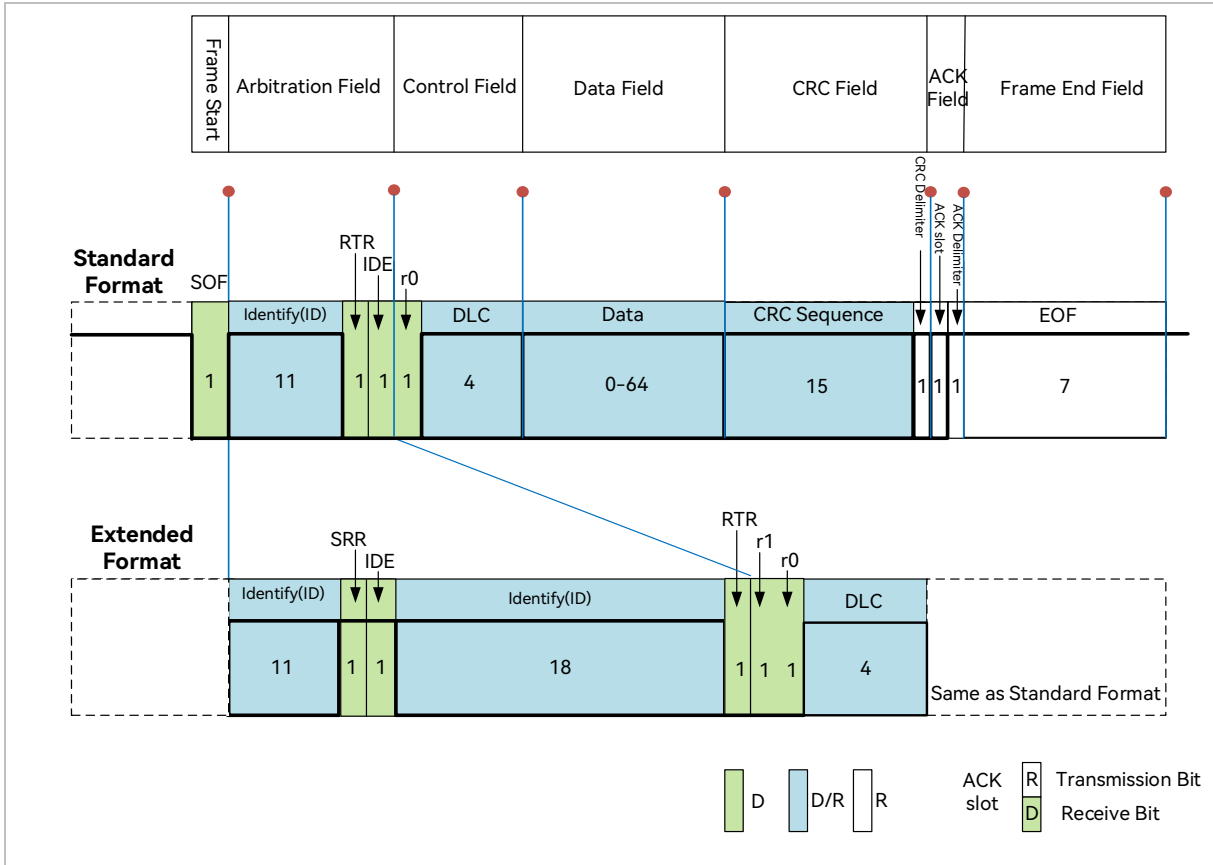
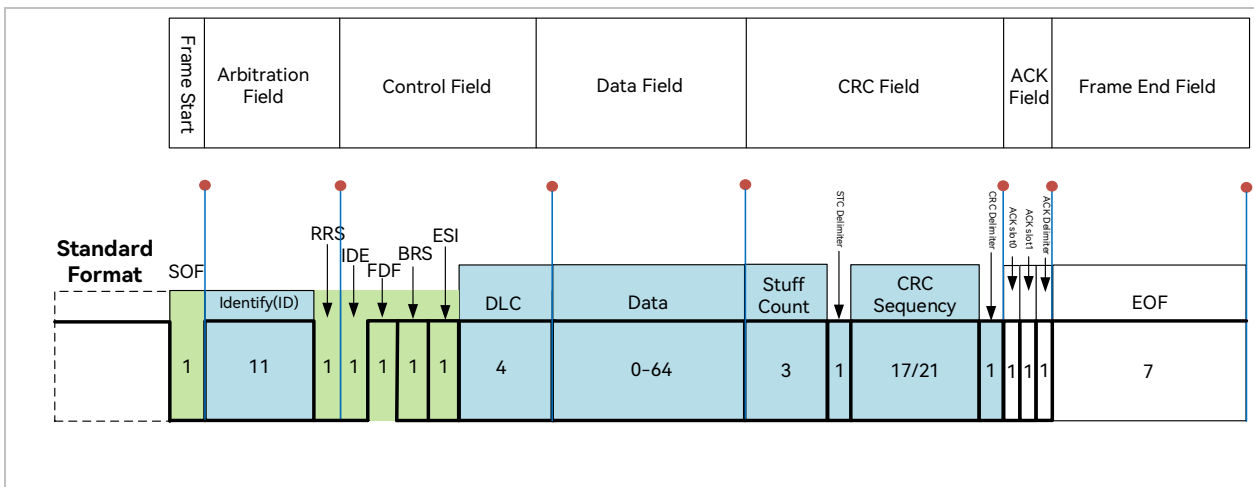


图 13-3 CANFD 帧结构图



数据帧一般由 7 个段构成，即：

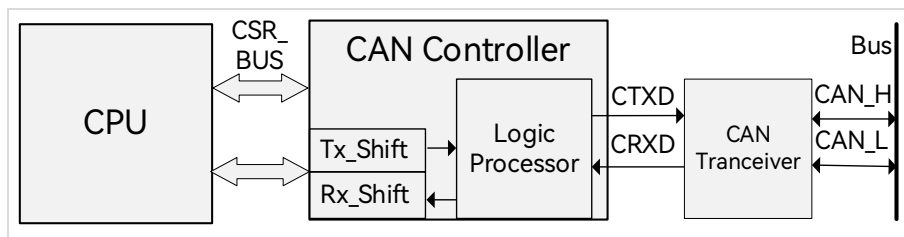
- > 帧起始: 表示数据帧开始的段
- > 仲裁段: 表示该帧优先级的段
- > 控制段: 表示数据的字节数及保留位的段
- > 数据段: 数据的内容，一帧可发送 0 ~ 8 个字节的数据
- > CRC段: 检查帧的传输错误的段
- > ACK段: 表示确认正常接收的段
- > 帧结束: 表示数据帧结束的段

详情请参考标准协议文件: ISO-11898-1:2015(E)。

13.4 CAN 控制器总体描述

CAN 总线拓扑结构如图 13-4 所示，CPU 通过 CSR 寻址完成 CAN 控制器功能寄存器的配置，包括初始化、位时间、工作模式、过滤、中断等；CPU 完成 CAN 模块与 SRAM 中 CAN 报文数据存储区的通讯，实现报文的发送、接收，SRAM CAN 报文数据存储区有三个发送数据区、三个接收缓冲区，可以缓存三组接收到的报文。

图 13-4 CAN 拓扑框图



13.5 主要特点

- > 支持CAN总线协议2.0A和2.0B;
- > 支持CANFD帧（ISO11898-1和CANFD规范V1.0);
- > 常规帧：通信波特率最大为1Mbit/s;
- > CANFD帧：通信波特率最大为4Mbit/s;
- > 支持传输延迟补偿;

- > 支持时间触发通信;
- > 中断使能和清除;
- > 3个发送邮箱;
- > 支持发送优先级;
- > 禁止自动重传模式;
- > 深度为3的接收FIFO, CPU可通过FIFO指针CAN_TSPT[RDPTR]读取接收的报文;
- > 单滤波/双滤波两种模式;
- > 低功耗的睡眠模式, 支持自动唤醒和手动唤醒;
- > 接收过滤支持单过滤器模式和双过滤器模式;
- > 错误管理。

13.6 工作模式

13.6.1 复位模式

在复位模式下, CAN 控制器处于复位状态, 不可以接收或发送报文。配置 CAN_CR0[RSTMOD] = 1 进入复位模式。

13.6.2 正常模式

CAN 控制器进入正常模式前, 必须先完成位时间特性(包括 CAN_DBTR)、过滤(包括过滤模式 CAN_CR0[FILMOD]、标识符 CAN_ACR、屏蔽位 CAN_AMR 的参数配置, 然后配置 CAN_CR0[CANEN] = 1 使能 CTXD 和 CRXD 端口, 并初始化 CAN。初始化后, CAN 控制器开始与总线同步。同步指的是等待 CAN 总线进入空闲状态, 即当 CRXD 连续检测到 11 个隐性位后, CAN 总线已进入空闲状态。同步后, CAN 控制器进入正常模式, 可以正常接收或发送报文。

13.6.3 睡眠模式

CAN 控制器可在低功耗的睡眠模式下工作。配置 CAN_CR1[SLPREQ] = 1, 请求进入睡眠模式。只有等待总线进入了空闲状态, CAN 控制器才进入睡眠模式, 读 CAN_STS[SLPACK]确认是否进入睡眠状态。在该模式下, CAN 停止接收、发送报文, 但软件可以访问接收缓冲区。

睡眠唤醒有两种方式:

- > 软件手动唤醒: CAN_CR1[SLPREQ]清0
- > 硬件自动唤醒: 配置CAN_CR0[AWU] = 1使能自动唤醒模式, 当检测到总线活动后, 硬件自动对CAN_CR1[SLPREQ]清0来唤醒CAN控制器。CAN控制器退出睡眠状态也需要再次同步总线, 读CAN_STS[SLPACK]确认是否退出睡眠状态。

13.7 功能描述

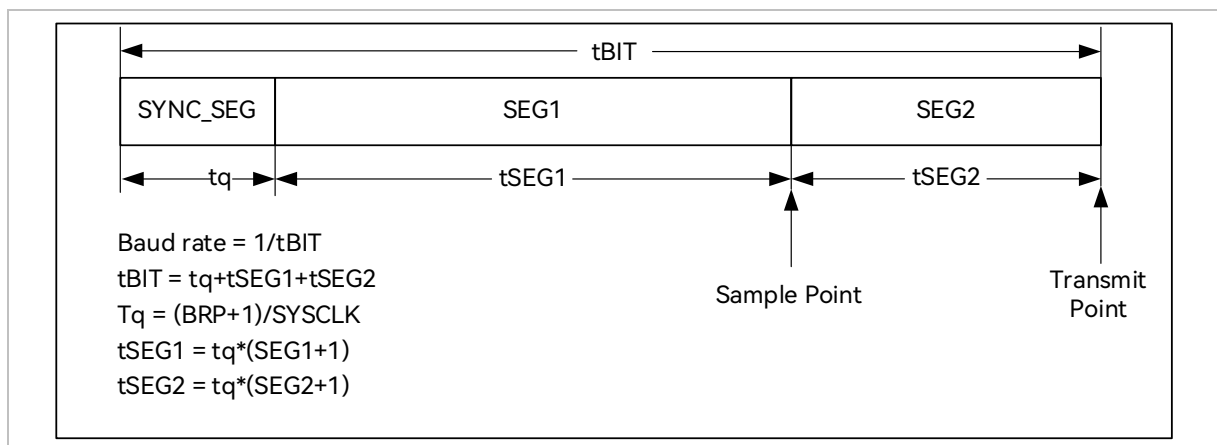
13.7.1 位时间特性

CAN 控制器通过采样来监视 CAN 总线, 通过与帧起始位的下降沿进行同步, 并与后面的下降沿重新同步来调整其采样点和发送点。

如图 13-5 所示, 位时间由同步段(SYNC_SEG)、时间段 1(T_{SEG1})、时间段 2(T_{SEG2})组成。这些段的长度是最小时间单位 t_q 的整数倍, t_q 由 BPR(CAN_NBTR[9:0])配置。

- > 同步段: 位的变化通常发生在该时间段内, 用于同步总线上的不同节点。其值固定为1个 t_q 。
- > 时间段1: 定义采样点的位置。它包含CAN标准里的传播段和相位缓冲段1。其值由CAN_NBTR[SEG1]配置, 可以设置为1到64个 t_q , 但也可以被自动延长, 以补偿因为网络中不同节点的频率差异所造成的相位的正向漂移。
- > 时间段2: 定义发送点的位置。它代表CAN标准里的相位缓冲段2。其值由CAN_NBTR[SEG2]配置, 可以设置为1到32个 t_q , 但也可以被自动缩短, 以补偿相位的负向漂移。

图 13-5 位时间结构图



在传播过程中，因时钟频率偏差、传播延迟等因素影响，各单元存在同步误差。通过 CAN_NBTR[NSJW] 配置重同步时间 t_{NSJW} 重新同步各单元。 t_{NSJW} 可设置为 1 到 4 个 t_q ，如果在时间段 1 而不是在同步段检测到有效跳变(隐性电平变显性电平)，那么时间段 1 就被延长最多 t_{NSJW} 那么长，从而延迟了采样点。如果在时间段 2 而不是在同步段检测到有效跳变(隐性电平变显性电平)，那么时间段 2 就被缩短最多 t_{NSJW} 那么长，从而提前了采样点。

13.8 发送管理

发送报文的流程为：应用程序选择 1 个空置的发送邮箱；设置标识符，数据长度和待发送数据；然后配置 CAN_TMIDx[TREQ] = 1，请求发送。CAN_TMIDx[TREQ]置 1 后，邮箱就不再是空邮箱；而一旦邮箱不再为空置，软件对邮箱寄存器就不再有写的权限。CAN_TMIDx[TREQ]位置 1 后，邮箱马上进入挂号状态，并等待成为最高优先级的邮箱，参见图 13-6 发送优先级。一旦邮箱成为最高优先级的邮箱，其状态就变为预定发送状态。一旦 CAN 总线进入空闲状态，预定发送邮箱中的报文就马上被发送(进入发送状态)。一旦邮箱中的报文被成功发送后，它马上变为空置邮箱；硬件相应地对 CAN_TMSTA[MOKx]位置 1。如果发送失败，相关失败标志位硬件置 1，包括仲裁失败标志位 CAN_TMSTA[MALx]、发送错误标志位 CAN_TMSTA[MERRx]。

13.8.1 发送优先级

配置 CAN_CR1[TMOD]选择邮箱优先级模式，清 0 邮箱工作在标识符模式，置 1 邮箱工作在 FIFO 模式。

标识符模式下，当有超过 1 个发送邮箱在挂号时，发送顺序由邮箱中报文的标识符决定。根据 CAN 协议，标识符数值最低的报具有最高的优先级。如果标识符的值相等，邮箱号小的优先级高。

FIFO 模式下，发送的优先级由发送请求次序决定。

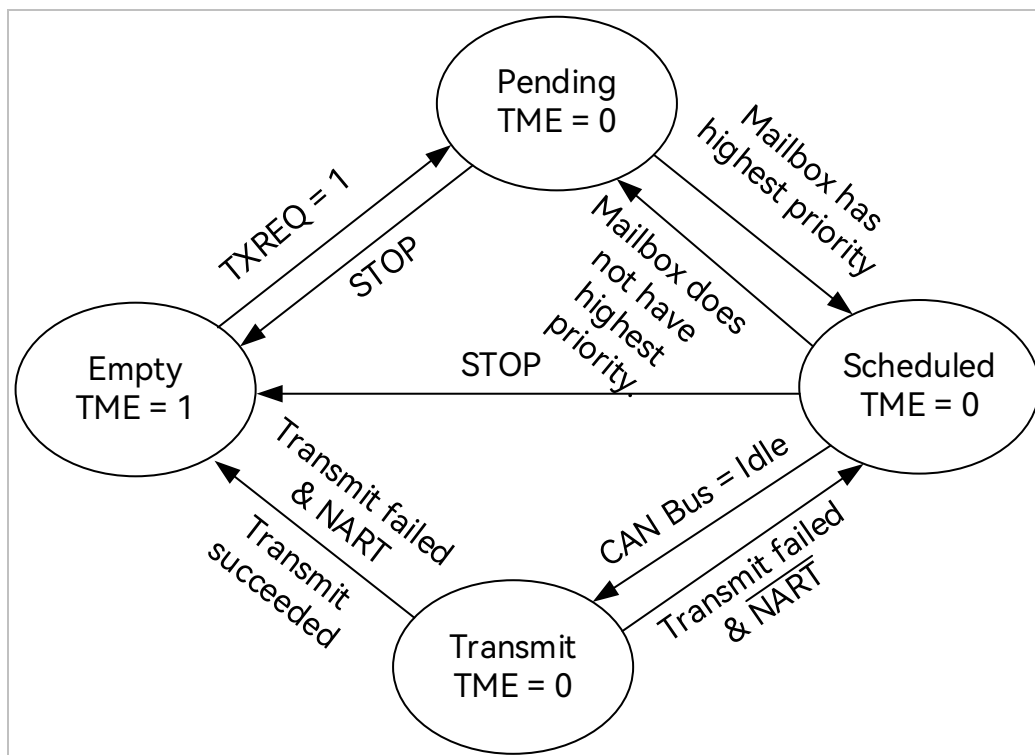
13.8.2 发送中止

配置 CAN_TMSTA[MSTPx] = 1，可以中止发送请求。邮箱如果处于挂号或预定状态，发送请求马上就被中止了。如果邮箱处于发送状态，那么中止请求可能导致 2 种结果。如果邮箱中的报文被成功发送，那么邮箱变为空置邮箱，且 CAN_TMSTA[MOKx]硬件置 1。如果邮箱中的报文发送失败了，那么邮箱变为预定状态，然后发送请求被中止，邮箱变为空置邮箱且 CAN_TMSTA[MOKx]硬件清 0。因此如果邮箱处于发送状态，那么在发送操作结束后，邮箱都会变为空置邮箱。

13.8.3 禁止自动重传模式

该模式主要用于满足 CAN 标准中，时间触发通信选项的需求。配置 CAN_CR1[NOART] = 1 禁止自动重传。在该模式下，发送操作只会执行一次。如果发送操作失败了，不管是由于仲裁丢失或出错，硬件都不会再自动发送该报文。在一次发送操作结束后，硬件认为发送请求已经完成，邮箱发送完成标志位 CAN_TMSTA[MDONEx]置 1，同时发送的结果反映在 CAN_TMSTA[MOKx]、CAN_TMSTA[MERRx]标志位上。

图 13-6 发送邮箱状态图



13.9 接收管理

CAN 控制器有三个接收缓冲区，依次为接收缓冲区 0、接收缓冲区 1、接收缓冲区 2，每个接收缓冲区包含 CAN_RXIDx、CAN_RXDTx、CAN_RXxDATy (x = 0,1,2, y = 0 ~15)。CAN 控制器采用 FIFO 对接收进行管理。

复位后 FIFO 写指针指向接收缓冲区 0。接收过程中，硬件自动往 FIFO 写指针指向的接收缓冲区填写数据。如果直到 EOF 域的最后一位都没有错误，且通过了过滤，则该报文被认为是有效报文，FIFO 写指针指向下一个接收缓冲区，如果 FIFO 写指针当前指向接收缓冲区 2，则 FIFO 写指针重新指向接收缓存区 0。若出现错误或过滤不通过，FIFO 写指针不变，下一组有效报文还是写到原来的缓冲区。若缓存了 3 组

有效报文，则接收缓冲区为满，接收下一组有效报文时会溢出，丢掉该报文。

CAN_TSPT[MESCNT]指示当前有效报文数，CAN_TSPT[RDPTR]指示 FIFO 读指针当前指向的缓冲区。软件读接收缓冲区获取报文，读取完 CAN_CR1[RFD]置 1，释放 FIFO 读指针指向的缓冲区，FIFO 读指针指向下一个缓冲区，如果 FIFO 读指针当前指向接收缓冲区 2，则 FIFO 读指针重新指向接收缓存区 0。

13.9.1 接收过滤

通过配置过滤模式、标识符、屏蔽位，只接收所需的报文。

过滤模式通过 CAN_CR0[FILMOD]选择单过滤器模式、双过滤器模式。单过滤器模式仅有一个过滤器过滤报文。双过滤器模式有两个过滤器。

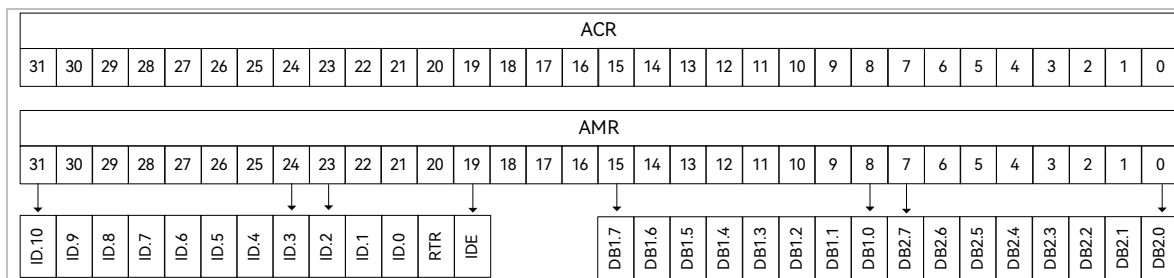
标识符通过 CAN_ACR 配置。

屏蔽位通过 CAN_AMR 配置。如果 CAN_AMR 某一位为 0，报文与 CAN_ACR 对应位必需一致，否则该组报文会被过滤掉；为 1 时，忽略报文与 CAN_ACR 对应位的一致性。

13.9.1.1 标准帧单过滤器模式

标准帧单过滤器模式，过滤部分包括 11 位 ID、RTR、IDE、数据的前两字节(DB0、DB1)，过滤配置如图 13-7 所示。当报文数据域的数据长度为 0 时，CAN_AMR[15:0]和 CAN_ACR[15:0]没有过滤作用，长度为 1 时，CAN_AMR[7:0]和 CAN_ACR[7:0]没有过滤作用。

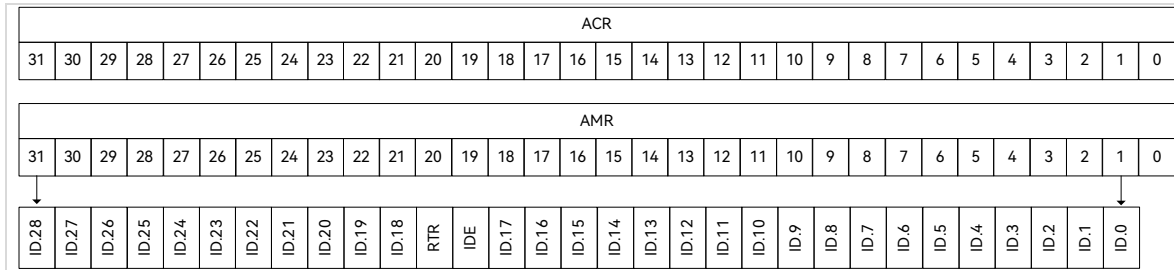
图 13-7 标准帧单过滤器模式



13.9.1.2 扩展帧单过滤器模式

扩展帧单过滤器模式，过滤部分为 29 位 ID、RTR、IDE，过滤配置如图 13-8 所示。

图 13-8 扩展帧单过滤器模式

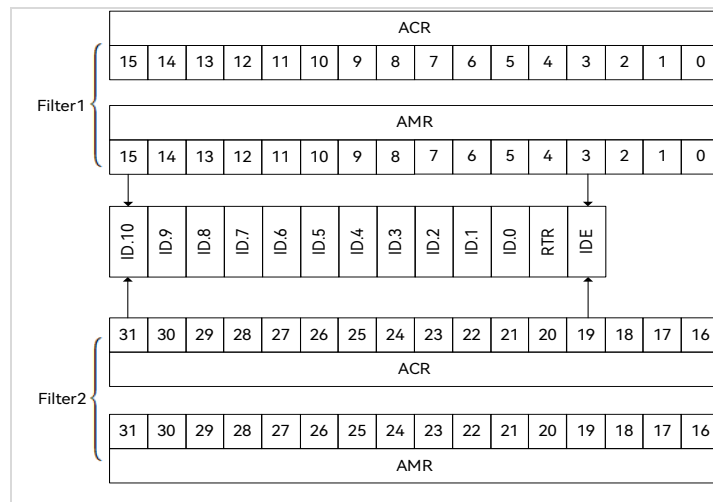


在单过滤器模式下，如果只接收标准帧，那么 CAN_AMR[19]设为 0，CAN_ACR[19]设为 0，CAN_AMR[15:0]和 CAN_ACR[15:0]可用于设置数据字节 0 和数据字节 1 的过滤。如果只接收扩展帧，那么 CAN_ACR[19]设为 1，CAN_AMR[19]设为 0，CAN_ACR[18:1]、CAN_AMR[18:1]可用于设置扩展帧 ID[17:0]的过滤。如果标准帧和扩展帧都需要接收，那么 CAN_ACR[19]设为 0 或 1，CAN_AMR[19]设为 1。

13.9.1.3 标准帧双过滤器模式

标准帧双过滤器模式，过滤器 1 过滤部分包括 11 位 ID、RTR、IDE，过滤器 2 过滤部分包括 11 位 ID、RTR、IDE，具体配置如图 13-9 所示。

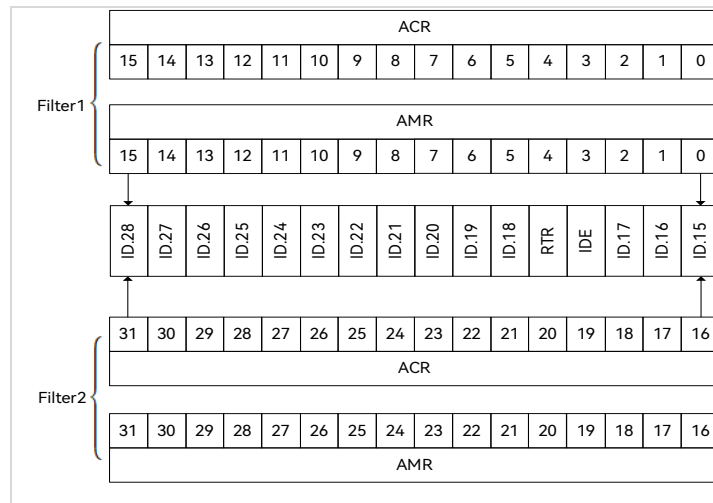
图 13-9 标准帧双过滤器模式



13.9.1.4 扩展帧双过滤器模式

扩展帧双过滤器模式，过滤部分为 ID 高 14 位、RTR、IDE，过滤配置如图 13-10 所示。

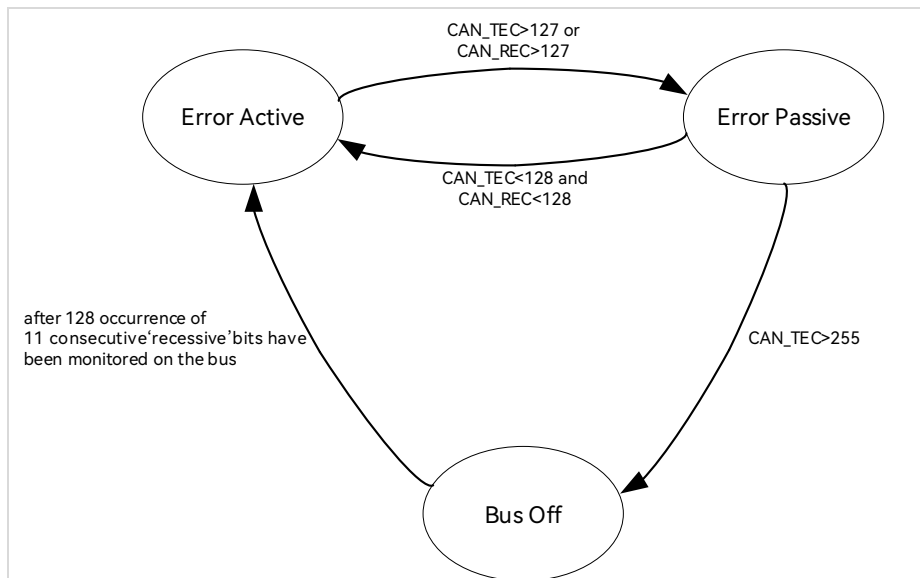
图 13-10 扩展帧双过滤器模式



13.9.2 错误管理

CAN 错误管理，由硬件通过发送错误计数器 CAN_TEC 和接收错误计数器 CAN_REC 来实现。CAN_TEC 和 CAN_REC 会根据错误情况增加或减少。错误状态有主动错误、被动错误、总线关闭 3 种，其状态管理如图 13-11 所示。在总线关闭状态下，CAN 无法接收和发送报文。通过 CAN_ERR 可以获取当前的错误状态和错误类型。

图 13-11 错误状态转移图



13.9.3 CANFD 操作

CANFD 协议中有两种类型，第一种是长帧模式(LFM)，在该模式下，CAN 帧的数据字段可以超过八个字节。第二种是快速帧模式(FFM)，在该模式下，CAN 帧的控制字段、数据字段和 CRC 字段的发送波特率

要高于帧开始和结束的发送波特率。快速帧模式可与长帧模式结合使用。

CAN2.0 帧中第一个保留位可解码为 FDF 位。FDF 隐性表示 CANFD 帧，而 FDF 显性则表示典型 CAN 帧。在 CANFD 帧中，FDF 之后的两个位 res 和 BRS 决定是否切换该 CANFD 帧中的波特率。CANFD 波特率切换通过 res 显性和 BRS 隐性指示。res 隐性的编码保留，供将来协议扩展使用。如果接收到的帧为 FDF 隐性和 res 隐性，配置 CAN_CR0[PEX] 发出协议异常事件。如果使能协议异常处理 (CAN_CR0[PEX] = 0)，下一采样点终止当前帧的接收，接收器由接收状态切换为总线整合状态 (需重新同步总线，才能处理新的报文)。如果禁止协议异常处理 (CAN_CR0[PEX] = 1)，CANFD 会将隐性 res 位当作格式错误处理，并将以错误帧进行响应。

配置 CAN_CR0[CFDEN] = 1 使能 CANFD 功能，CAN 总线控制器同时支持常规帧 (标准帧和扩展帧) 以及 FD 帧的收发。如果 CAN_CR0[CFDEN] = 0，CAN 总线控制器仅支持常规帧 (标准帧和扩展帧) 的收发，此时若接收到 CANFD 帧，控制器发送错误帧。如果 FD 功能被禁止，即使发送邮箱 CAN_TMDTx[FDF] = 1，也不会发送 CANFD 帧。

CAN_CR0[CFDEN] = 1，邮箱 CAN_TMDTx[FDF] = 1 且 CAN_TMDTx[BRS] = 0，不切换波特率发送 CANFD 帧。邮箱 CAN_TMDTx[FDF] = 1 且 CAN_TMDTx[BRS] = 1，切换波特率发送 CANFD 帧。

CANFD 帧中，在 CANFD 格式中，DLC 的编码与标准 CAN 格式不同。DLC 代码 0 到 8 的编码与标准 CAN 相同，代码 9 到 15 (在标准 CAN 中，所有代码的数据字段均为 8 个字节) 是按照表 13-2 CANFD 中的 DLC 编码编码。

表 13-2 CANFD 中的 DLC 编码

DLC	9	10	11	12	13	14	15
数据字节数	12	16	20	24	32	48	64

在 CANFD 快速帧中，如果 BRS 为隐性，则在 BRS (波特率切换) 位后，位时长将在帧内切换。在 BRS 位之前，在 CANFD 仲裁阶段，标准 CAN 位时长按照位时长和预分频器寄存器 CAN_NBTR 定义的方式使用。在接下来的 CANFD 数据阶段，快速 CAN 位时长按照快速位时长和预分频器寄存器 CAN_DBTR 定义的方式使用。位时长会在出现 CRC 分隔符或检测到错误时从快速时长切换回来。

在 CANFD 长帧和 CANFD 快速帧这两种数据帧格式中，位 ESI (错误状态指示符) 的值是由发送开始时的发送器错误状态决定的。如果发送器为错误被动状态，则 ESI 会隐性传送，否则会显性传送。在 CANFD 远程帧中，ESI 位始终显性传送，与发送器错误状态无关。CANFD 远程帧的数据长度代码以 0 的

形式发送。

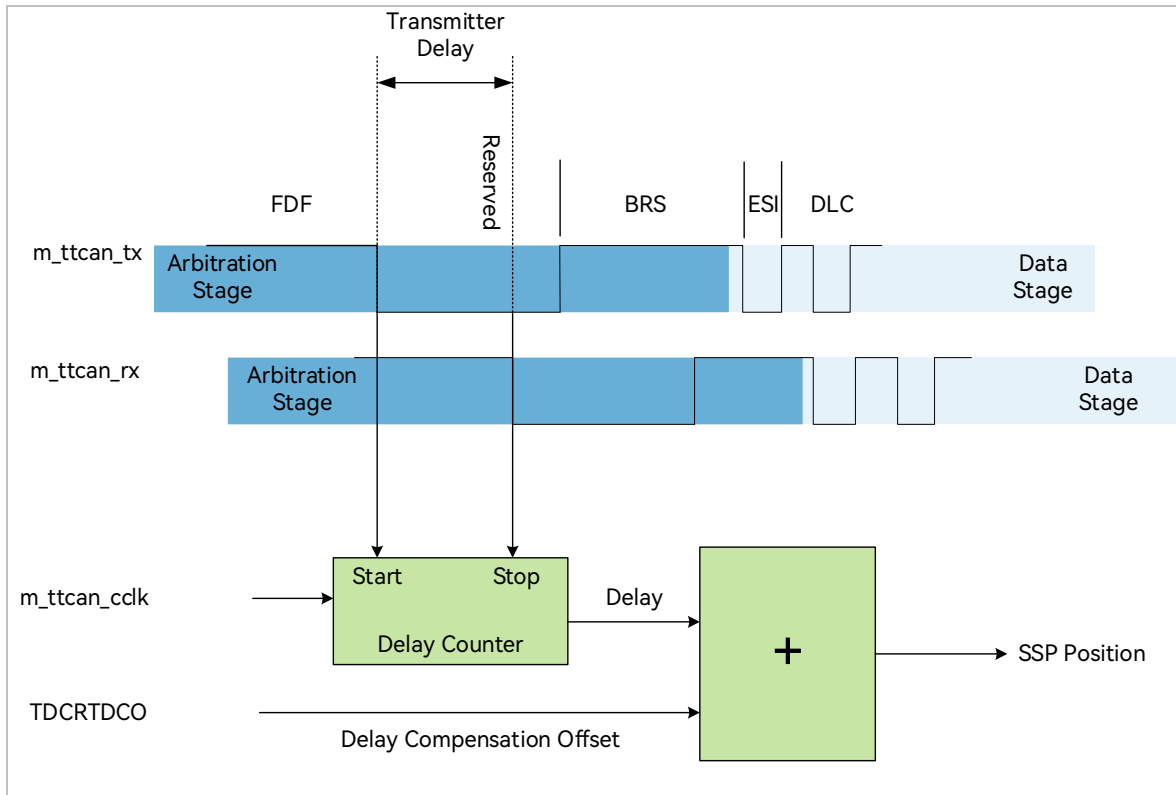
13.9.4 传输延迟补偿

在发送 CANFD 帧数据阶段，只有一个节点会进行发送，所有其他节点都是接收器。总线的长度没有影响。通过引脚 CTXD 进行发送时，协议控制器会通过引脚 CRXD 接收到其本地 CAN 收发器发送的数据。接收数据的延迟为 CAN 收发器环路延迟。如果该延迟大于 T_{SEG1} （采样点之前的时间段），则会检测到位错误。如果不进行传输延迟补偿，CANFD 帧数据阶段的波特率会受到收发器环路延迟的限制。

CANFD 会实施延迟补偿机制来补偿 CAN 收发器环路延迟，从而可在 CANFD 数据阶段以较高的波特率进行发送，而不受特定 CAN 传输延迟补偿的影响。为了检查发送节点的数据阶段是否存位错误，会将延迟发送数据与在第二采样点(SSP)接收到的数据进行比较。如果检测到位错误，发送将在下一常规采样点对这一位错误作出响应。在仲裁阶段，始终会禁止延迟补偿。传输延迟补偿会使数据位时间短于发送器延迟的配置，新版 ISO11898-1 中进行了详细介绍。配置 `CAN_CR0[TDCEN] = 1` 使能传输延迟补偿。接收到的位会与在 SSP 发送的位进行比较。SSP 位置定义为从 CANFD 发送输出引脚 CTXD 通过收发器到接收输入引脚 CRXD 测得的延迟与由 `CAN_TDCR[SSP_OFFSET]` 配置的传输延迟补偿偏移之和。传输延迟补偿偏移用于调整已接收位中 SSP 的位置（例如数据域的半个位时间）。第二采样点的位置会向下舍入到下一 `mtq` 整数（最小时间片，即一个系统时钟）。

配置 `CAN_CR0[TDCEN] = 1`，使能传输延迟补偿。则会在每个 FDF 位到 `res` 位的下降沿处发送的 CANFD 帧中开始测量。在发送器的接收输入引脚 CRXD 上观察到该边沿时，会停止测量。该测量的分辨率为一个 `mtq`。寄存器 `CAN_TDCR[TDCO]` 实时显示延迟值。

图 13-12 传输延迟捕获



为了避免接收到的 FDF 位中的显性毛刺信号导致在接收到的 res 位下降沿之前结束延迟补偿测量（造成 SSP 位置过早），可通过编程 CAN_TDCR[TDCCF]来使能传输延迟补偿过滤器窗口，从而定义最小 SSP 位置值。进行发送器延迟测量时，会忽略可能导致 SSP 位置更加提前的 CRXD 上的显性边沿。当 SSP 位置至少为 CAN_TDCR[TDCCF]且 CRXD 为低电平时，会停止测量。

13.10 CAN 中断事件

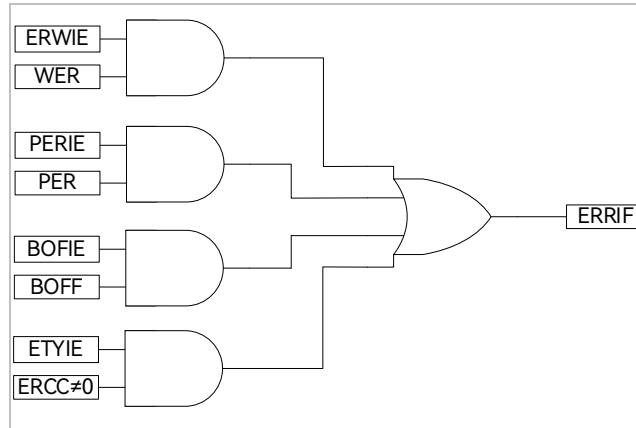
CAN 有 11 个中断源，各中断使能通过配置 CAN_IER 对应的使能位，中断触发时，CAN_IFR 相关中断标志位置 1。

- > 接收中断: 如果直到EOF域的最后一位都没有出现错误，且通过了过滤，即当前接收到的报文是有效报文，CAN_IFR[RXIF]置1，如果接收中断使能CAN_IER[RXIE]置1，触发接收中断。
- > 发送结束中断: 当报文发送结束时，CAN_IFR[TXIF]置1，如果发送结束中断使能CAN_IER[TXIE]置1，触发发送结束中断。
- > 溢出中断: 当FIFO溢出时，CAN_IFR[OVIF]置1，如果溢出中断使能CAN_IER[OVIE]置1，将触发溢出中断。

- 仲裁丢失中断: 当与其它节点发生仲裁并丢失总线的控制权时, CAN_IFR[ARBIF]置1, 如果仲裁丢失中断使能CAN_IER[ARBIE]置1, 触发仲裁丢失中断。
- 睡眠中断: 当进入睡眠模式时, CAN_IFR[SLPIF]置1, 如果睡眠中断使能CAN_IER[SLPIE]置1, 将触发睡眠中断。
- 唤醒中断: 在自动唤醒模式下, 当检测到帧起始位(SOF)时, CAN_IFR[WKUIF]置1, 如果CAN_CRO[AWU]置1且唤醒中断使能CAN_IER[WKUIE]置1, 触发唤醒中断。
- 过载帧中断: 当配置过载帧发送且满足过载帧发送条件后, CAN模块会主动发送过载帧, 在成功发送过载帧第一位后, 将触发过载帧中断。
- 错误中断
 - 错误预警中断: 当CAN_TEC \geq CAN_LIM或CAN_REC \geq CAN_LIM时, 错误预警标志位CAN_ERR[WER]置1, 如果错误预警中断使能CAN_IER[ERWIE]置1且错误中断总使能CAN_IER[ERRIE]置1, 并当检测到错误时, 触发错误预警中断。
 - 被动错误中断: 当CAN_TEC > 127或CAN_REC > 127时, 被动错误标志位CAN_ERR[PER]置1, 如果被动错误中断使能CAN_IER[PERIE]置1且错误中断总使能CAN_IER[ERRIE]置1, 并当检测到错误时, 触发被动错误中断。
 - 总线关闭中断: 当CAN_TEC > 255时, 离线标志位CAN_ERR[BOFF]置1, 如果离线错误中断使能CAN_IER[BOFIE]置1且错误中断总使能CAN_IER[ERRIE]置1, 并当检测到错误时, 触发总线关闭中断。
 - 错误类型中断: 当检测到位错误、格式错误、填充错误、ACK错误、CRC错误之一时, 错误类型CAN_ERR[ETY]变为非0值以指示错误类型, 如果错误类型中断使能CAN_IER[ETYIE]置1且错误中断总使能CAN_IER[ERRIE]置1, 并当检测到错误时, 触发错误类型中断。

错误中断包括错误预警中断、被动错误中断、总线关闭中断、错误类型中断。CAN_IFR[ERRIF]与CAN_ERR[WER]、CAN_ERR[PER]、CAN_ERR[BOFF]、CAN_ERR[ERCC]以及各中断使能位的关系如图13-13所示。其中, CAN_IFR[ERRIF]是错误中断标志位, CAN_ERR[WER]、CAN_ERR[PER]、CAN_ERR[BOFF]、CAN_ERR[ERCC]是状态标志位。因此, 当错误中断被触发后, 可读状态标志位获取具体的错误信息, 软件清CAN_IFR[ERRIF]。

图 13-13 ERRIF 与 WER、PER、BOFF、ERCC 以及各中断使能位的关系



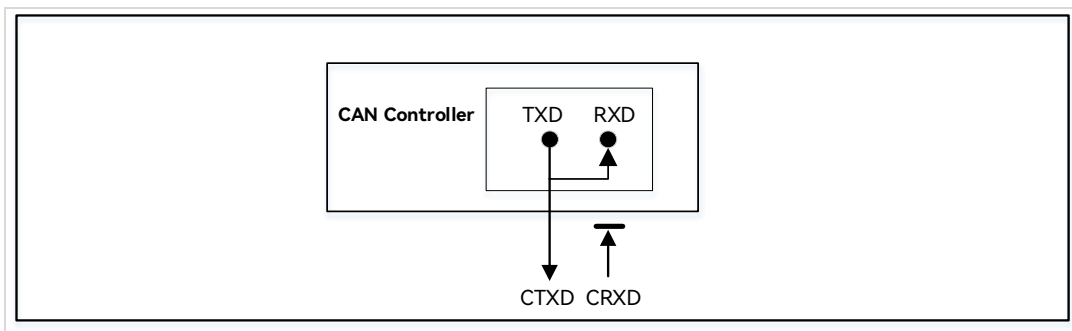
13.11 测试模式

通过配置 CAN_CR0[SELFTST]、CAN_CR0[LISTEN]，可以选择自测模式、监听模式和自测监听模式。

13.11.1 自测模式

CAN_CR0[SELFTST]置 1，CAN_CR0[LISTEN]清 0，选择自测模式，其工作框图如图 13-14 所示。在自测模式下，CAN 控制器断开与 CRXD 引脚的连接。CAN 控制器内部把 CTXD 的输出回馈到 CRXD 输入上，并忽略 CRXD 引脚的实际状态和 ACK 错误(在帧的 ACK 槽，不检测是否是显性位)。在该模式下，对 CAN_CR1[RSELF]置 1，CAN 控制器把发送的报文接收回来，如果是有效报文则写回接收缓冲区。在该模式下，CAN_TMIDx[TREQ]置 1，CAN 控制器只是发送报文，无论是不是有效报文，都不会写回接收缓冲区。

图 13-14 自测模式

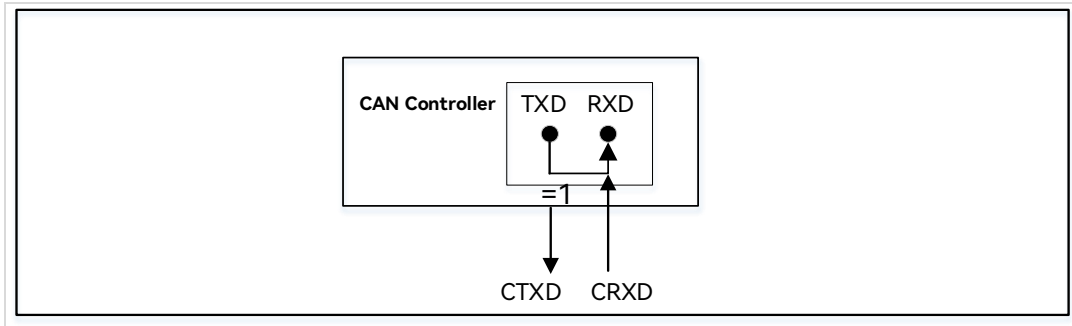


13.11.2 监听模式

CAN_CR0[SELFTST]清 0，CAN_CR0[LISTEN]置 1，选择监听模式，其工作框图如图 13-15 所示。在监听模式下，CTXD 引脚被驱动到隐性电平状态。CAN 控制器可以正常地接收，但发出的显性位在内部被

接收回来而不会发送到 CTXD 引脚，而不能真正发送报文到总线上。因此，在监听模式下，CAN 总线不会受到影响，有利于分析 CAN 总线的活动。

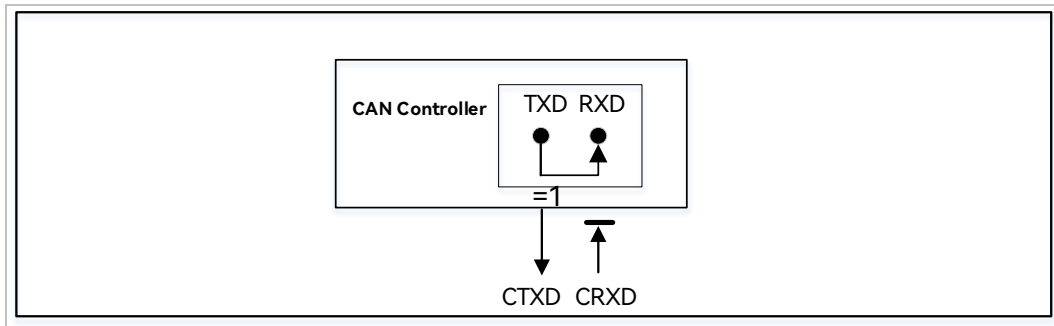
图 13-15 监听模式



13.11.3 自测监听模式

CAN_CR0[SELFTST]置 1，CAN_CR0[LISTEN]置 1，选择自测监听模式，其工作框图如图 13-16 所示。在自测监听模式下，CAN 控制器断开与 CRXD 引脚的连接，同时 CTXD 引脚被驱动到隐性电平状态。在该模式下，CAN 总线不会受到影响，并且在内部把 TXD 的输出回馈到 RXD 输入上同时忽略 ACK 错误。

图 13-16 自测监听模式



13.12 CAN 寄存器

13.12.1 CAN_CR0 (CSR:0x1C0)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0												
RSV																		SSPDIS	TDCSEL	TDCEN	PEX	NISO	CFDEN	CANEN	RSV	RSV	AWU	FILMOD	SELFST	LISTEN	RSTMOD												
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW												
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13]	SSPDIS	二次采样(SSP)禁止 仅 CANFD 变速有效 0: 不禁止 1: 禁止
[12]	TDCSEL	传输延迟补偿模式选择 0: 测量值加软件偏移 1: 仅使用软件偏移
[11]	TDCEN	传输延迟补偿使能 0: 传输延迟补偿禁止 1: 传输延迟补偿使能
[10]	PEX	协议异常处理禁止(Protocol Exception Handling Disable) 0: 使能协议异常处理 1: 禁止协议异常处理
[9]	NISO	ISO/BOSCH 0: ISO 1: BOSCH
[8]	CFDEN	CANFD 使能 0: 不使能 CANFD 功能 1: 使能 CANFD 功能
[7]	CANEN	CTXD、CRXD 端口复用及 CAN 使能 0: 不复用、不使能 1: 复用、使能且初始化 CAN
[6:5]	RSV	保留

[4]	AWU	自动唤醒模式使能 自动唤醒使能时，CAN 检测到报文后，硬件自动对 CAN_CR1[SLPREQ]和 CAN_STS [SLPACK]清 0 唤醒 0: 不使能 1: 使能
[3]	FILMOD	过滤模式 0: 双过滤器模式 1: 单过滤器模式
[2]	SELFTST	自测模式使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	LISTEN	监听模式使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	RSTMOD	复位模式 读: 0: CAN 控制器不处于复位模式 1: CAN 控制器处于复位模式 写: 0: 初始化 CAN 控制器，在与总线同步后，进入正常模式。 1: 进入复位模式

13.12.2 CAN_CR1 (CSR:0x1C1)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV															TTCM	RSV							TMOD	OLREQ	SLPREQ	RSELF	RSV	RFD	NOART	RSV		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	-	w1	rW	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	-

位	名称	描述
[31:15]	RSV	保留
[14]	TTCM	三选二触发采样模式使能 0: 不使能 1: 使能
[13:8]	RSV	保留
[7]	TMOD	发送邮箱模式

		0: ID 模式 1: FIFO 模式
[6]	OLREQ	过载帧请求 0: 不请求 1: 请求
[5]	SLPREQ	睡眠请求 软件对该位置 1 请求进入睡眠模式，一旦当前的 CAN 活动(发送或接收报文)结束，CAN 就进入睡眠模式。 软件对该位置 0 请求退出睡眠模式，然后 CAN 控制器重新与总线同步。 0: 不请求 1: 睡眠请求
[4]	RSELF	自收模式 发送报文被自己接收且存入 FIFO 0: 不使能 1: 使能
[3]	RSV	保留
[2]	RFD	释放报文数据 释放 CAN_TSPT[RDPTR]指向的接收缓冲区 写: 0: 不释放，读指针 CAN_TSPT[RDPTR]不变 1: 释放，读指针 CAN_TSPT[RDPTR]指向下一数据区
[1]	NOART	禁止自动重传使能 0: 不使能，发送失败后，自动重发 1: 使能，不管发送成功与否，只发送一次
[0]	RSV	保留

13.12.3 CAN_STS (CSR:0x1C2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0							
																							RSV			SLPACK	TXING	RXING	RSV	FOV	FEMP							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	r	-	-	r	r							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0	0							

位	名称	描述
[31:7]	RSV	保留
[6]	SLPACK	睡眠模式确认

		<p>该位由硬件置 1，指示 CAN 控制器正处于睡眠模式。该位是对软件请求进入睡眠模式的确认。</p> <p>当 CAN 退出睡眠模式时硬件对该位清 0。</p> <p>读： 0: CAN 不处于睡眠状态 1: CAN 处于睡眠状态</p> <p>写： 0: 清 0，退出睡眠状态 1: 无意义</p>
[5]	TXING	<p>发送中标志位</p> <p>0: CAN 不处于报文发送状态 1: CAN 处于报文发送状态</p>
[4]	RXING	<p>接收中状态</p> <p>0: CAN 不处于报文接收状态 1: CAN 处于报文接收状态</p>
[3:2]	RSV	保留
[1]	FOV	<p>FIFO 溢出标志位</p> <p>0: FIFO 未溢出 1: FIFO 溢出</p>
[0]	FEMP	<p>FIFO 空标志位</p> <p>0: FIFO 空 1: FIFO 非空</p>

13.12.4 CAN_IER (CSR:0x1C3)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0					
																				RSV	WKUIE	SLPIE	OVLIE	ERRIE	ETYIE	BOFIE	PERIE	ERWIE	OVIE	ARBIE	TXIE	RXIE				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					


位	名称	描述
[31:12]	RSV	保留
[11]	WKUIE	<p>唤醒中断使能</p> <p>0: 不使能 1: 使能</p>
[10]	SLPIE	睡眠中断使能

		0: 不使能 1: 使能
[9]	OVLIE	过载中断使能 0: 不使能 1: 使能
[8]	ERRIE	错误中断总使能 0: 不使能 1: 使能
[7]	ETYIE	错误类型中断使能 0: 不使能 1: 使能
[6]	BOFIE	总线关闭中断使能 0: 不使能 1: 使能
[5]	PERIE	被动错误中断请求 0: 不使能 1: 使能
[4]	ERWIE	错误预警中断使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	OVIE	溢出中断使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	ARBIE	仲裁丢失中断使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	TXIE	发送结束中断使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	RXIE	接收中断使能 0: 不使能 1: 使能

13.12.5 CAN_IFR (CSR:0x1C4)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
																								RSV		WKUIF	SLPIF	OVLIF	ERRIF	OVIF	ARBIF	TXIF	RXIF						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0							

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7]	WKUIF	唤醒中断事件标志位 当 CAN 处于自动唤醒模式，一旦检测到帧起始位(SOF)，硬件置 1 读： 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写： 0: 清 0 1: 无意义
[6]	SLPIF	睡眠中断事件标志位 一旦 CAN 进入睡眠模式硬件置 1 读： 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写： 0: 清 0 1: 无意义
[5]	OVLIF	过载中断时间标志位 读： 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写： 0: 清 0 1: 无意义
[4]	ERRIF	错误中断事件标志位 如果使能了相应的错误中断，当检测到对应的错误时，硬件置 1，详细内容请参考 CAN 中断源。该位由软件清 0。

		<p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[3]	OVIF	<p>溢出中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[2]	ARBIF	<p>仲裁丢失中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[1]	TXIF	<p>发送结束中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[0]	RXIF	<p>接收中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p> 备注:</p> <p>该标志位硬件置 1，不能软件清 0，必须通过对 CAN_CR1[RFD]置 1 释放接收缓冲区来清 0</p>

13.12.6 CAN_TSPT (CSR:0x1C5)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																												RDPTR		MESCNT	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:4]	RSV	保留
[3:2]	RDPTR	FIFO 读指针 00: FIFO 读指针指向接收缓冲区 0 01: FIFO 读指针指向接收缓冲区 1 10: FIFO 读指针指向接收缓冲区 2 11: 保留
[1:0]	MESCNT	有效报文数

13.12.7 CAN_NBTR (CSR:0x1C6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV			SEG2					RSV		SEG1					NSJW					RSV	NBRP										
-	-	-	r	r	r	r	r	-	-	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	-	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:29]	RSV	保留
[28:24]	SEG2	采样点之后的标称时间段
[23:22]	RSV	保留
[21:16]	SEG1	采样点之前的标称时间段
[15:11]	NSJW	重同步宽度 $t_{NSJW} = tq*(NSJW + 1)$
[10]	RSV	保留
[9:0]	NBRP	标称波特率分频系数

13.12.8 CAN_DBTR (CSR:0x1C7)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV				DSEG2				RSV				DSEG1				RSV	DSJW				RSV				DBRP							
-	-	-	-	r	r	r	r	-	-	-	r	r	r	r	r	-	r	r	r	r	-	-	-	-	-	r	r	r	r	r	r	r
-	-	-	-	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:28]	RSV	保留
[27:24]	DSEG2	采样点之后的数据时间段
[23:21]	RSV	保留
[20:16]	DSEG1	采样点之前的数据时间段
[15]	RSV	保留
[14:11]	DSJW	重同步宽度 $t_{DSJW} = tq*(DSJW + 1)$
[10:6]	RSV	保留
[5:0]	DBRP	数据波特率分频系数

13.12.9 CAN_TDCR (CSR:0x1C8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
RSV									TDCO							RSV	TDCFLT							RSV	SSP_OFFSET									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	r	r	r	r	r	r	-	r	r	r	r	r	r	r	r	-	r	r	r	r	r	r	r	r
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:23]	RSV	保留
[22:16]	TDCO	传输延迟补偿值 第二采样点的位置，由从 CTXD 到 CRXD 之间测得的延迟与 CAN_TDCR[SSP_OFFSET]之和定义。在数据阶段，SSP 位置为已发送位起点与第二采样点之间的最小时间片(mtq)数。有效值为 0 到 127 个 mtq。
[15]	RSV	保留

[14:8]	TDCFLT	传输延迟补偿过滤器窗口长度 定义 SSP 位置的最小值，要测量发送器延迟
[7]	RSV	保留
[6:0]	SSP_OFFSET	传输延迟补偿偏移 定义从 CTXD 到 CRXD 测得的延迟与第二采样点之间距离的偏移值。有效值为 0 到 127 个 mtq

13.12.10 CAN_ACR (CSR:0x1C9)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

CAN_ACR

0 0

位	名称	描述
[31:0]	CAN_ACR	过滤器标识符寄存器

13.12.11 CAN_AMR (CSR:0x1CA)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

CAN_AMR

0 0

位	名称	描述
[31:0]	CAN_AMR	过滤器屏蔽标识符寄存器

13.12.12 CAN_ERR (CSR:0x1CB)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

CTEC

CREC

RSV

ALCC

ERCC

RSV

BOFF

PER

WER

Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	-	-	-	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	-	-	Σ	Σ	Σ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0

位	名称	描述
[31:24]	CTEC	CAN 发送错误计数值
[23:16]	CREC	CAN 接收错误计数值
[15:13]	RSV	保留
[12:8]	ALCC	仲裁域仲裁失败位置
[7:5]	ERCC	错误类型 000: 无错误 001: 位错误 010: 格式错误 011: 填充错误 100: ACK 错误 101: CRC 错误 110: 保留 111: 保留
[4:3]	RSV	保留
[2]	BOFF	总线关闭标志位 0: 总线不关闭 1: 总线关闭
[1]	PER	被动错误状态 0: CAN_TEC ≤ 127 且 CAN_REC ≤ 127, 错误状态为主动错误 1: CAN_TEC > 127 或 CAN_REC > 127, 错误状态为被动错误
[0]	WER	错误预警标志位 0: CTEC < CAN_LIM 且 CREC < CAN_LIM, 没有错误预警 1: CTEC ≥ CAN_LIM 或 CREC ≥ CAN_LIM, 错误预警

13.12.13 CAN_ERLIM (CSR:0x1CC)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																ERLIM															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	1	0	1	1	0

位	名称	描述
---	----	----

[31:8]	RSV	保留
[7:0]	ERLIM	错误预警数, 当 CAN_ERR[CTEC] ≥ CAN_LIM 或 CAN_ERR[CREC] ≥ CAN_LIM 时产生预警

13.12.14 CAN_TMSTA (CSR:0x1CD)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MSL2	MSL1	MSL0	MNUM	ME2	ME1	ME0	MSTP2	RSV	MERR2	MAL2	MOK2	MDONE2	MSTP1	RSV	MERR1	MAL1	MOK1	MDONE1	MSTP0	RSV	MERR0	MAL0	MOK0	MDONE0							
r	r	r	r	r	r	r	rw	-	rw1	rw1	rw1	rw1	rw	-	rw1	rw1	rw1	rw1	rw	-	rw1	rw1	rw1	rw1	-	-	-	rw1	rw1	rw1	rw1
0	0	0	0	0	1	1	1	0	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0

位	名称	描述
[31]	MSL2	在发送 FIFO 中邮箱 2 最后发送 该位为 1 表明, 当有 2 个及其以上帧等待发送时, 发送邮箱 2 具有最后的发送顺序
[30]	MSL1	在发送 FIFO 中邮箱 1 最后发送 该位为 1 表明, 当有 2 个及其以上帧等待发送时, 发送邮箱 1 具有最后的发送顺序
[29]	MSL0	在发送 FIFO 中邮箱 0 最后发送 该位为 1 表明, 当有 2 个及其以上帧等待发送时, 发送邮箱 0 具有最后的发送顺序
[28:27]	MNUM	当发送 FIFO 不满时, MNUM 表示下一个将要发送的邮箱号 当发送 FIFO 满时, MNUM 表示最后一个将要发送的邮箱号
[26]	ME2	发送邮箱 2 空 0: 发送邮箱 2 不为空 1: 发送邮箱 2 空
[25]	ME1	发送邮箱 1 空 0: 发送邮箱 1 不为空 1: 发送邮箱 1 空
[24]	ME0	发送邮箱 0 空 0: 发送邮箱 0 不为空 1: 发送邮箱 0 空
[23]	MSTP2	邮箱 2 停止发送 将其置 1, 将停止邮箱 2 的发送过程 当邮箱 2 变为空时, 该位被硬件自动清 0

[22:20]	RSV	保留
[19]	MERR2	<p>邮箱 2 发送错误</p> <p>当发生发送错误时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE2]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p>
[18]	MAL2	<p>邮箱 2 仲裁失败</p> <p>当仲裁失败时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE2]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p>
[17]	MOK2	<p>邮箱 2 无错发送完成</p> <p>当发送结束并且没有错误产生时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE2]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读:</p> <p>0: 传输结束时发生了错误</p> <p>1: 传输结束且没有错误</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义</p> <p>1: 清 0</p>
[16]	MDONE2	<p>邮箱 2 发送完成</p> <p>当发送完成或被中止时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0。也可以在下次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读:</p> <p>0: 发送邮箱 2 正在发送</p> <p>1: 发送邮箱 2 完成发送</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义</p> <p>1: 清 0</p>
[15]	MSTP1	<p>邮箱 1 停止发送</p> <p>将其置 1，将停止邮箱 1 的发送过程。当邮箱 1 变为空时，该位被硬件自动清 0</p>
[14:12]	RSV	保留
[11]	MERR1	<p>邮箱 1 发送错误</p> <p>当发生发送错误时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE1]写 1 清 0。也可以在下次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>当发生错误时该位被置 1。</p>

[10]	MAL1	<p>邮箱 1 仲裁失败</p> <p>当发生仲裁失败时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE1]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p>
[9]	MOK1	<p>邮箱 1 无错发送完成</p> <p>当发送结束并且没有错误产生时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE1]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读:</p> <p>0: 传输结束时发生了错误</p> <p>1: 传输结束且没有错误</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义</p> <p>1: 清 0</p>
[8]	MDONE1	<p>邮箱 1 发送完成</p> <p>当发送完成或被中止时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0。也可以在下次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读:</p> <p>0: 发送邮箱 1 正在发送</p> <p>1: 发送邮箱 1 完成发送</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义</p> <p>1: 清 0</p>
[7]	MSTP0	<p>邮箱 0 停止发送</p> <p>将其置 1，将停止邮箱 0 的发送过程。当邮箱 2 变为空时，该位被硬件自动清 0</p>
[6:4]	RSV	保留
[3]	MERR0	<p>邮箱 0 发送错误</p> <p>当发生发送错误时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE0]写 1 清 0。也可以在一次发送开始时由硬件清 0。发生错误时该位被置 1。</p>
[2]	MAL0	<p>邮箱 0 仲裁失败</p> <p>当发生仲裁失败时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE0]写 1 清 0。也可以在下次发送开始时由硬件清 0。</p>
[1]	MOK0	邮箱 0 无错发送完成

		<p>当发送结束并且没有错误产生时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0 或对 CAN_TMSTA[MDONE0]写 1 清 0。也可以在下一次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读： 0: 传输结束时发生了错误 1: 传输结束且没有错误</p> <p>写： 0: 无意义 1: 清 0</p>
[0]	MDONE0	<p>邮箱 0 发送完成</p> <p>当发送完成或被中止时，该位由硬件置 1。由软件写 1 清 0。也可以在下一 次发送开始时由硬件清 0。</p> <p>读： 0: 发送邮箱 2 正在发送 1: 发送邮箱 2 完成发送</p> <p>写： 0: 无意义 1: 清 0</p>

13.12.15 CAN_TMIDx (CSR:0x1CE/0x1D0/0x1D2) (x = 0/1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
STDID[10:0]/ EXTID[28:18]											EXTID[17:0]											RSV		TREQ							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:21]	STDID[10:0]/ EXTID[28:18]	标识符 STDID[10:0]: 标准格式帧标识符 EXTID[28:18]: 扩展格式帧标识符
[20:3]	EXTID[17:0]	EXTID[17:0]: 扩展格式帧标识符
[2:1]	RSV	保留
[0]	TREQ	邮箱 x 发送请求 0: 不请求 1: 请求

13.12.16 CAN_TMDTx (CSR:0x1CF/0x1D1/0x1D3) (x = 0/1/2)

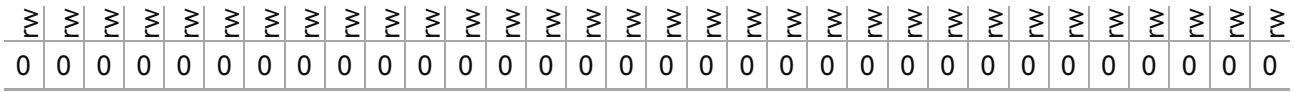
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																							IDE	RTR	FDL	BRS	ESI	DLC					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:9]	RSV	保留
[8]	IDE	帧标识符(Extended Identifier) 0: 11 位标准标识符 1: 29 位扩展标识符
[7]	RTR	远程发送请求(Remote Transmission Request) 0: 发送数据帧 1: 发送远程帧
[6]	FDL	CANFD 帧标志位 0: 常规帧(标准帧或扩展帧) 1: CANFD 帧
[5]	BRS	位速率转换开关(Bit Rate Switch) 0: 不转换速率 1: 转换可变速率
[4]	ESI	错误状态指示符(Error State Indicator) 0: CANFD 格式的 ESI 位仅取决于错误被动标志 1: CANFD 格式的 ESI 位会进行隐性发送
[3:0]	DLC	数据长度代码(Data Length Code) 0-8: CAN + CANFD: 接收到的帧包含 0-8 个数据字节 9-15: CAN: 接收到的帧包含 8 个数据字节 9-15: CANFD: 接收到的帧包含 12/16/20/24/32/48/64 个数据字节

13.12.17 CAN_TX0DATx (0x400000A0 + x*4)

x 为邮箱偏移地址, x = 0,1,2,...,15。

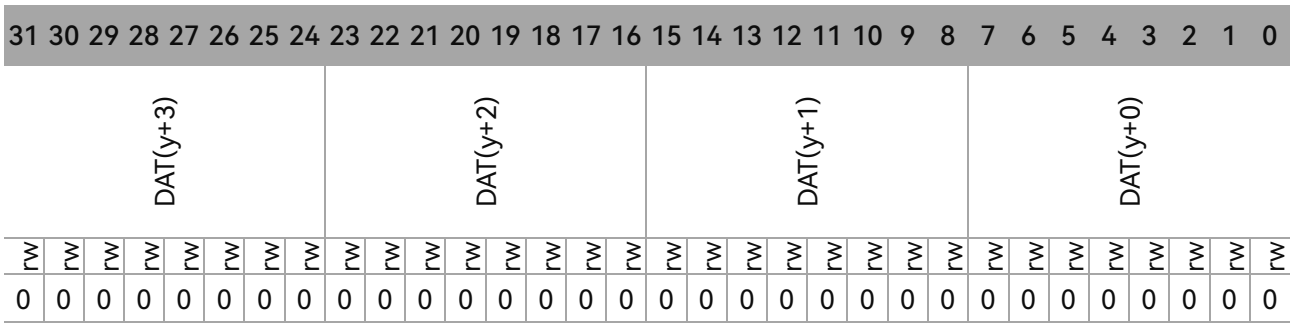
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DAT(y+3)								DAT(y+2)								DAT(y+1)								DAT(y+0)							



位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 y+3 (y = x*4)
[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 y+2 (y = x*4)
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 y+1 (y = x*4)
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 y + 0 (y = x*4)

13.12.18 CAN_TX1DATx (0x400000E0 + x*4)

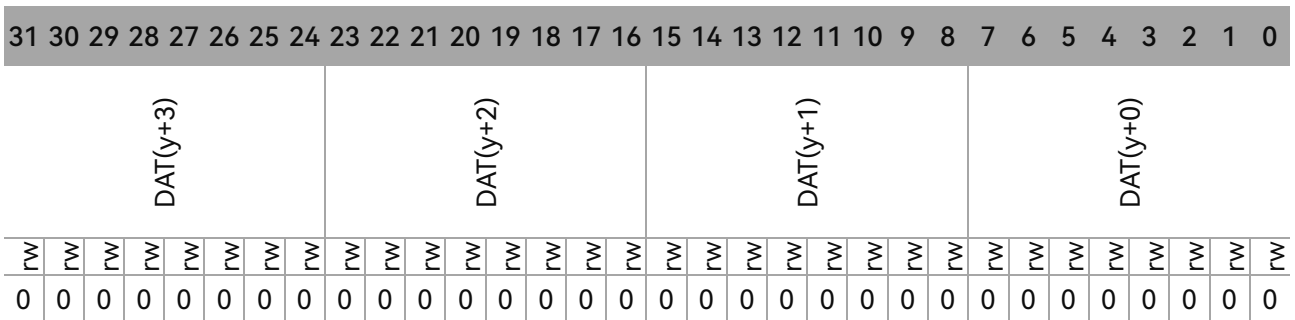
x 为邮箱偏移地址, x = 0,1,2,...,15。



位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 y + 3 (y = x*4)
[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 y + 2 (y = x*4)
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 y + 1 (y = x*4)
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 y + 0 (y = x*4)

13.12.19 CAN_TX2DATx (0x40000120 + x*4)

x 为邮箱偏移地址, x = 0,1,2,...,15。



位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 y + 3 (y = x*4)

[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 y + 2 (y = x*4)
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 y + 1 (y = x*4)
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 y + 0 (y = x*4)

13.12.20 CAN_RXIDx (0x40000160 + x*72)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
STDID[10:0]/ EXTID[28:18]										EXTID[17:0]										RSV													
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	

位	名称	描述
[31:21]	STDID[10:0]/ EXTID[28:18]	标识符 STDID [10:0]: 标准格式帧标识符 EXTID[28:18]: 扩展格式帧标识符
[20:3]	EXTID[17:0]	EXTID[17:0]: 扩展格式帧标识符
[2:0]	RSV	保留

13.12.21 CAN_RXDTx (0x40000164 + x*72)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																							IDE	RTR	FDL	BRS	ESI	DLC			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:9]	RSV	保留
[8]	IDE	帧标识符(Extended Identifier) 0: 11 位标准标识符 1: 29 位扩展标识符
[7]	RTR	远程发送请求(Remote Transmission Request) 0: 发送数据帧 1: 发送远程帧
[6]	FDL	CANFD 帧标志位 0: 常规帧(标准帧或扩展帧)

		1: CANFD 帧
[5]	BRS	位速率转换开关 0: 不转换速率 1: 转换可变速率
[4]	ESI	错误状态指示符(Error State Indicator) 0: CANFD 格式的 ESI 位仅取决于错误被动标志 1: CANFD 格式的 ESI 位会进行隐性发送
[3:0]	DLC	数据长度代码(Data Length Code) 0-8: CAN + CANFD: 接收到的帧包含 0-8 个数据字节 9-15: CAN: 接收到的帧包含 8 个数据字节 9-15: CANFD: 接收到的帧包含 12/16/20/24/32/48/64 个数据字节

13.12.22 CAN_RX0DATx (0x40000168 + x*4)

x 为邮箱偏移地址, x = 0,1,2,...,15。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
DAT(y+3)								DAT(y+2)								DAT(y+1)								DAT(y+0)									
r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 y + 3 (y = x*4)
[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 y + 2 (y = x*4)
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 y + 1 (y = x*4)
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 y + 0 (y = x*4)

13.12.23 CAN_RX1DATx (0x40000168 + x*4)

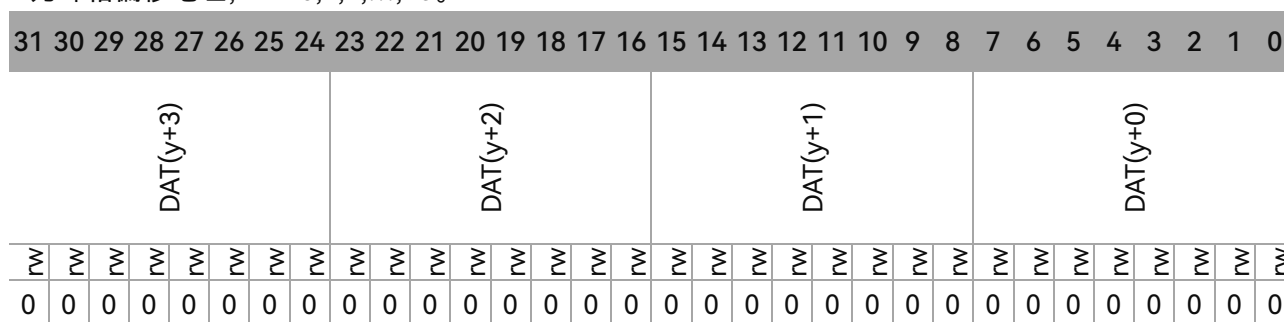
x 为邮箱偏移地址, x = 0,1,2,...,15。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
DAT(y+3)								DAT(y+2)								DAT(y+1)								DAT(y+0)									
r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 $y + 3 (y = x*4)$
[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 $y + 2 (y = x*4)$
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 $y + 1 (y = x*4)$
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 $y + 0 (y = x*4)$

13.12.24 CAN_RX2DATx (0x40000168 + x*4)

x 为邮箱偏移地址, $x = 0, 1, 2, \dots, 15$ 。



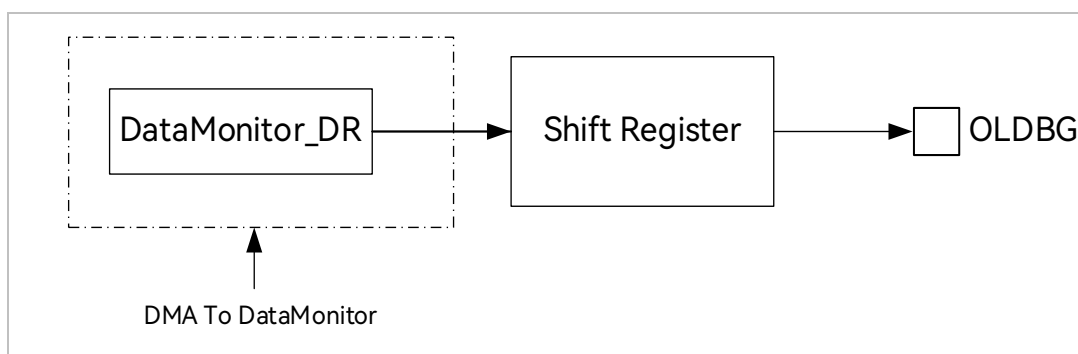
位	名称	描述
[31:24]	DAT(y+3)	数据字节 $y + 3 (y = x*4)$
[23:16]	DAT(y+2)	数据字节 $y + 2 (y = x*4)$
[15:8]	DAT(y+1)	数据字节 $y + 1 (y = x*4)$
[7:0]	DAT(y+0)	数据字节 $y + 0 (y = x*4)$

14 DataMonitor

14.1 DataMonitor 简介

DataMonitor 是一种高速单工异步串行通讯接口，其原理框图如下图所示。

图 14-1 DataMonitor 原理框图



14.2 DataMonitor 操作说明

DataMonitor 由 DMA 控制发送使能，具体数据内容和数据长度也由 DMA 配置完成，具体配置流程参考 27 DMA。

15 Timer5/6

15.1 Timer5/6 操作说明

Timer5/6 共有 6 种工作模式:

- 输出模式: 产生PWM输出波形
- 输入捕获模式: 检测输入PWM的高低电平持续时间
- 输入计数模式: 检测输入设定的PWM个数所需的时间
- RSD模式: 顺逆风检测模式
- 步进模式: 检测步进电机的方向、位置和速度
- QEP输入模式 & QEP输出模式(Timer5): 正交编码器输入输出

Timer5/6 特性包括:

- 3位可编程分频器对系统时钟进行分频
- 16位向上计数的基本计数器, 计数时钟源为分频器的输出
- 16位向上向下计数的专用计数器, 用于输入计数模式, 计数时钟源为外部输入信号
- 16位向上向下计数的专用计数器, 用于QEP输入输出模式
- 输入滤波模块
- 边沿检测模块
- PWM输出模块
- 中断事件

15.1.1 分频器

分频器对系统时钟进行分频, 产生基本计数器的计数时钟源。分频器由 TIMx_CR0[TxPSC]控制, 可选择 8 种分频系数。由于这个控制寄存器没有缓冲器, 分频系数更新后会立刻改变时钟源频率, 所以应在基本计数器不工作时更新分频系数。时钟源的频率为 $clk_psc = SYSCLK / (2^{TIMx_CR0[TxPSC]})$ 。分频后的时钟源频率与 TIMx_CR0[TxPSC]的关系表 15-1 所示。

表 15-1 分频后的时钟源频率与 TIMx_CR0[TxPSC]对应关系

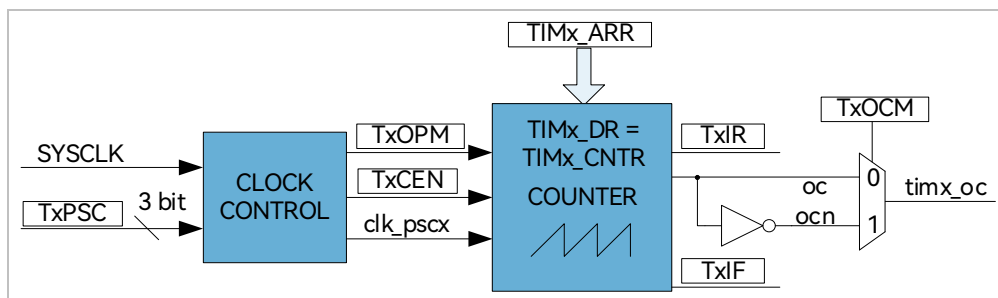
TIMx_CR0[TxPSC]	分频系数	TIMx_CR0[TxPSC]	分频系数
000	1	100	16
001	2	101	32
010	4	110	64
011	8	111	128

15.2 TIMx_CNTR 的读写和计数

TIMx_CR1[TxCEN] = 1 时，TIMx_CNTR 计数。软件对 TIMx_CNTR 的写操作直接改变寄存器的值，因此软件需在执行写操作前禁止基本计数器。

15.2.1 输出模式

图 15-1 输出模式原理框图



基本计数器输出模式根据 TIMx_CR1[TxOCM]设置，以及 TIMx_CNTR 与寄存器 TIMx_DR、TIMx_ARR 设定值的比较结果产生输出信号，同时产生相应中断。

15.2.1.1 TIMx_ARR/TIMx_DR 的读写

在输出模式下，TIMx_ARR/TIMx_DR 包含预装载寄存器和影子寄存器。软件写 TIMx_ARR/TIMx_DR 寄存器时，数据保存在预装载寄存器中，在上溢事件 TIMx_SR[TxIF]或基本计数器停止工作(TIMx_CR1[TxCEN] = 0)时，设定值被传递到影子寄存器中。

例: TIMx_DR(预装载寄存器)、DR_SH(影子寄存器)，TIMx_CNTR 和 DR_SH 比较产生 PWM；用户写 TIMx_DR 并不是立刻更新到 DR_SH，而是在一个 PWM 结束的时候，即 TIMx_CNTR 上溢时才将值更新到 DR_SH。

15.2.1.2 高/低电平输出模式

配置 TIMx_CR1[TxOCM] = 0 时，如果 TIMx_DR > TIMx_ARR，输出信号始终为低电平。配置

TIMx_CR1[TxOCM] = 1 时，如果 TIMx_DR > TIMx_ARR，输出比较信号始终为高电平。

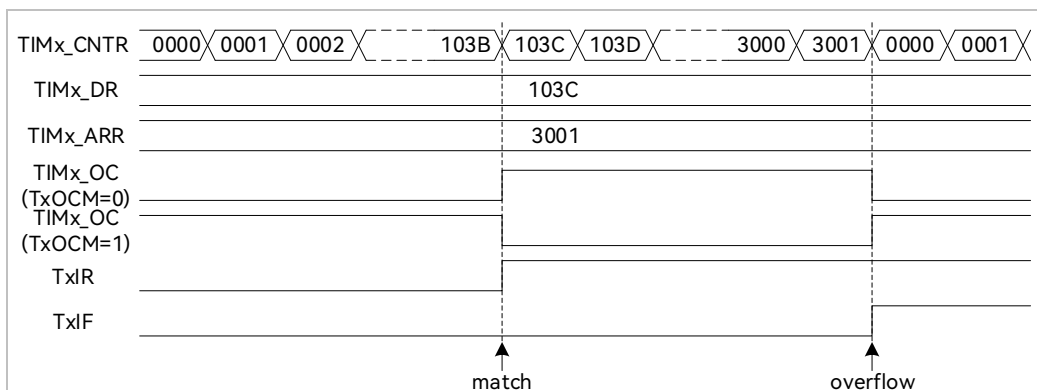
15.2.1.3 PWM 输出

PWM 输出模式下，TIMx_ARR 决定 PWM 周期，TIMx_DR 决定占空比，占空比 = TIMx_DR/TIMx_ARR*100%。配置 TIMx_CR1[TxOCM] = 0 时，当基本计数器 TIMx_CNTR < TIMx_DR 时输出低电平，反之输出高电平。配置 TIMx_CR1[TxOCM] = 1 时，当基本计数器 TIMx_CNTR < TIMx_DR 时输出高电平，反之输出低电平。当计数到 TIMx_ARR 时，输出信号反转。

15.2.1.4 中断事件

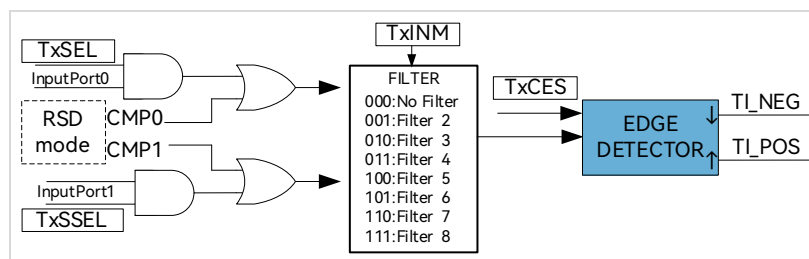
- > 当TIMx_CNTR = TIMx_DR时，产生比较匹配事件，中断事件标志位TIMx_SR[TxIR]置1，基本计数器继续计数。
- > 当TIMx_CNTR = TIMx_ARR时，产生上溢事件，中断事件标志位TIMx_SR[TxIF]置1，计数器清0，并重新开始计数。

图 15-2 输出模式输出波形



15.2.2 输入信号滤波和边沿检测

图 15-3 输入信号滤波和边沿检测框图



Timer5/6 的输入信号端口如表 15-2 所示，由 PH_SEL[TxACT]和 PH_SEL[TxBCT] (参考 23.3.13 章节)设

定。输入时可选择是否对输入信号进行噪声滤波。

表 15-2 Timer5/6 输入端口及配置

Timer模块	TxSEL端口配置		TxSSEL端口配置	
	输入端口0	端口配置位	输入端口1	端口配置位
Timer5	PA4	PH_SEL[T5SEL] : PH_SEL[T5ACT] = 11	PA5	PH_SEL[T5SEL] : PH_SEL[T5BCT] = 11
Timer6	PA7	PH_SEL[T6ACT] = 10	PA8	PH_SEL[T6BCT]

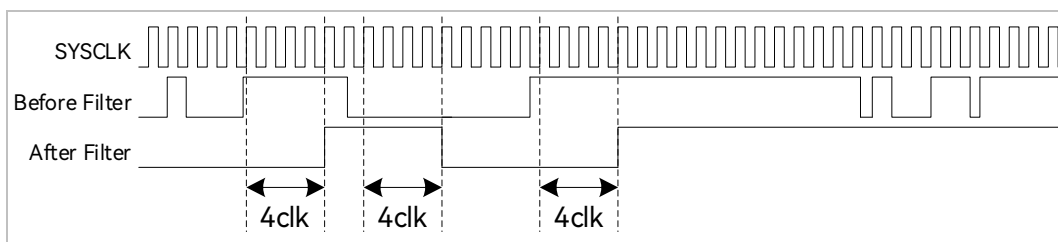
滤波电路不滤波或滤除 2/3/4/5/6/7/8 个系统时钟周期以下的输入噪声。配置 TIMx_CR0[TxINM]可选择滤波周期。滤波时钟个数与 TIMx_CR0[TxINM]的关系表 15-3 所示。

表 15-3 分频后的时钟源频率与 TIMx_CR0[TxINM]对应关系

TIMx_CR0[TxINM]	滤波时钟个数	TIMx_CR0[TxINM]	滤波时钟个数
000	0	100	5
001	2	101	6
010	3	110	7
011	4	111	8

滤波后的信号会比滤波前的信号延迟对应的时钟周期。由 TIMx_CR0[TxCES]选择计数的有效沿。4 个时钟滤波的工作时序如图 15-4 所示。

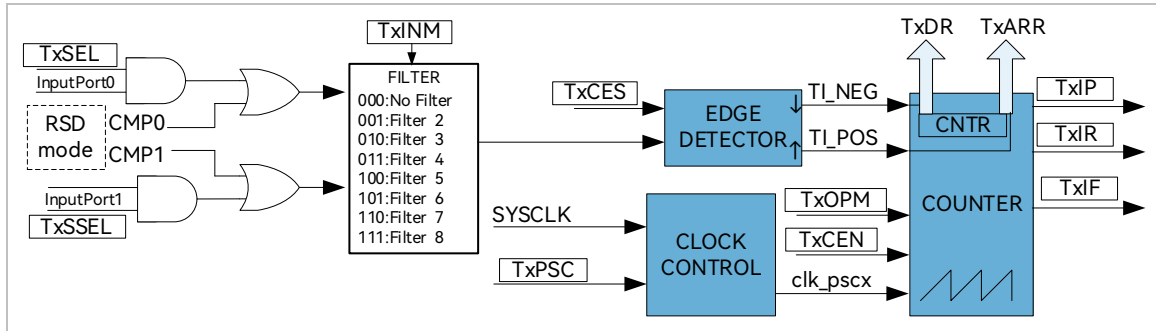
图 15-4 滤波模块时序图



边沿检测模块对滤波后的输入信号进行检测，记录上升沿和下降沿，供输入捕获或输入计数模式使用。

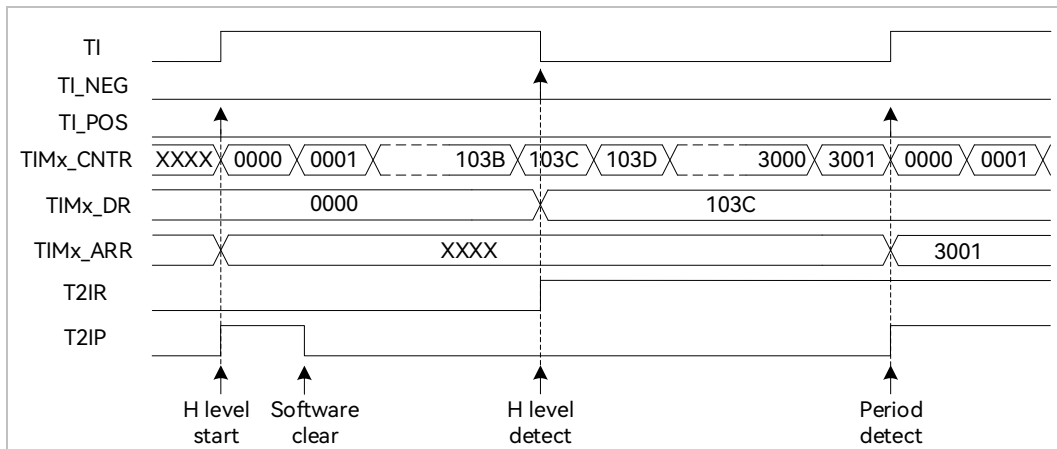
15.2.3 输入捕获模式

图 15-5 输入捕获模式原理框图



输入捕获模式检测 PWM 信号的占空比和周期。TIMx_CR0[TxCES] = 0 时，选择相邻两个上升沿为 1 个周期，上升沿到下降沿的时间为脉宽(高电平脉宽)。TIMx_CR0[TxCES] = 1 时，选择相邻两个下降沿为 1 个周期，下降沿到上升沿的时间为脉宽(低电平脉宽)。当所定边沿到来时，计数值 TIMx_CNTR 被分别存入 TIMx_DR 和 TIMx_ARR 中，用于计算 PWM 波形的周期和占空比。

图 15-6 输入捕获模式(TIMx_CR0[TxCES] = 0)时序图

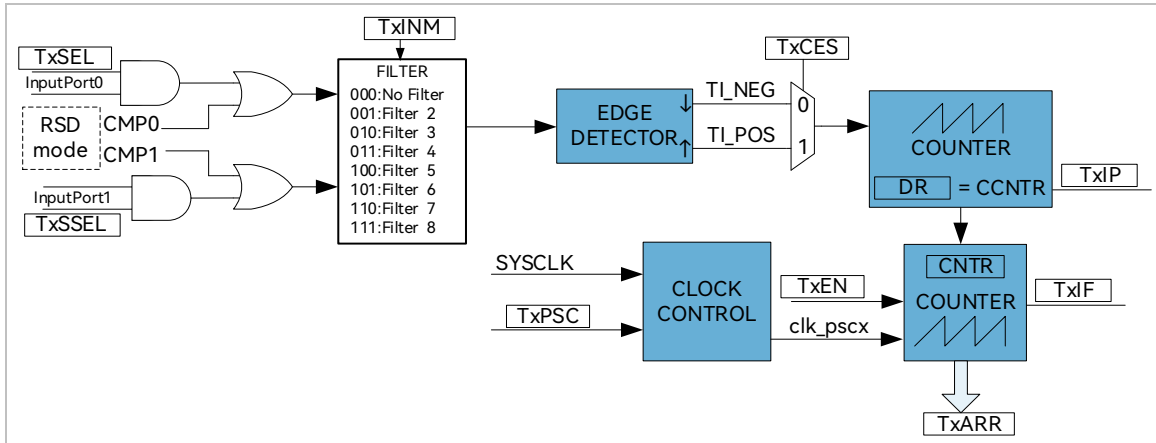


以 TIMx_CR1[TxOCM] = 0 为例，配置 TIMx_CR1[TxCEN] = 1，使能基本计数器，基本计数器向上计数。当 Timer5/6 检测到输入的第一个上升沿时(下降沿无效)，TIMx_CNTR 清 0 并重新计数。当检测到输入的下降沿时，将 TIMx_CNTR 的值存进 TIMx_DR，同时中断事件标志位 TIMx_SR[TxIR]置 1，TIMx_CNTR 继续向上计数。当检测到输入的第二个上升沿时，将 TIMx_CNTR 的值存进 TIMx_ARR，同时中断事件标志位 TIMx_SR[TxIP]置 1，TIMx_CNTR 清 0，并重新开始计数。

如果在 Timer5/6 尚未检测到输入的第二个上升沿，且计数值 TIMx_CNTR 达到 0xFFFF 时，发生上溢事件，中断事件标志位 TIMx_SR[TxIF]置 1，TIMx_CNTR 清 0 并重新开始计数，此时 TIMx_ARR 的值为 0xFFFF，TIMx_DR 的值由输入电平和 TIMx_CR1[TxOCM]异或决定。

15.2.4 输入计数模式

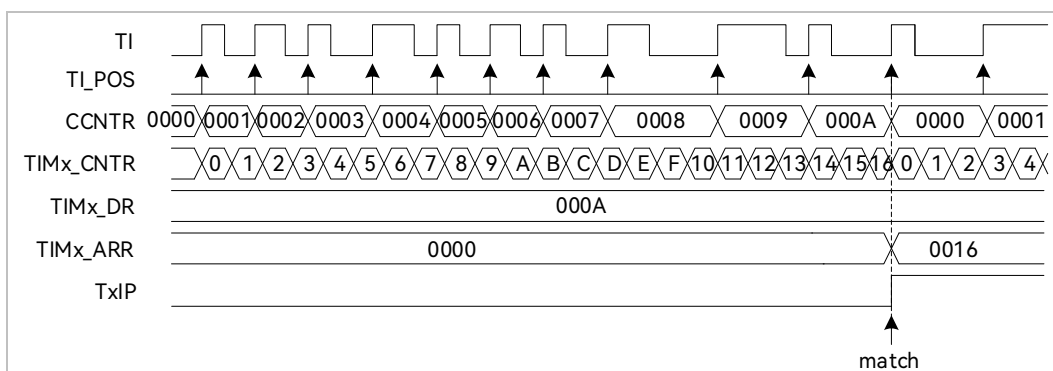
图 15-7 输入计数模式原理框图



在输入计数模式下，TIMx_DR 包含预装载寄存器和影子寄存器。软件写 TIMx_DR 寄存器时，数据先保存在预装载寄存器中。在匹配事件(TIMx_SR[TxIP] = 1)、上溢事件(TIMx_SR[TxIF] = 1)或专用计数器禁止(TIMx_CR1[TxCEN] = 0)时送入影子寄存器中。

输入计数模式用于检测输入设定 PWM 个数所需的时长。当专用计数器 CCNTR 计数到的输入 PWM 的个数，达到 TIMx_DR 设定值时，基本计数器的计数值 TIMx_CNTR 被存入 TIMx_ARR 中。配置 TIMx_CR0[TxCES] = 1，输入 PWM 信号的上升沿作为专用计数器的计数有效沿，反之输入信号的下降沿作为有效沿。

图 15-8 输入计数模式时序图

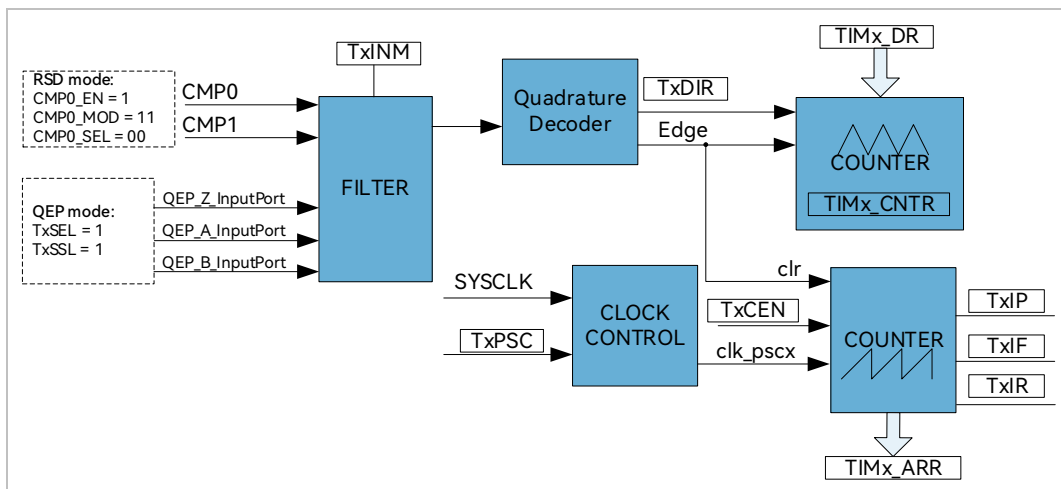


配置 TIMx_CR1[TxCEN] = 1，使能基本计数器。基本计数器向上计数，当检测到输入信号的第一个有效沿时，TIMx_CNTR 清 0 并重新开始计数。每当输入信号的有效沿到来，专用计数器 CCNTR 的计数值加 1，当计数值达到 TIMx_DR 设定的目标值后，基本计数器的计数值 TIMx_CNTR 被存进 TIMx_ARR，同时中断事件标志位 TIMx_SR[TxIP]置 1，TIMx_CNTR 和 CCNTR 清 0，并重新开始计数。

当输入的 PWM 个数尚未达到目标值，而基本计数值 TIMx_CNTR 已经达到 0xFFFF 时，发生上溢事件，中断事件标志位 TIMx_SR[TxIF]置 1，TIMx_CNTR 清 0，CCNTR 不清 0，TIMx_CNTR 从零开始计数，CCNTR 接着之前的数值继续计数。

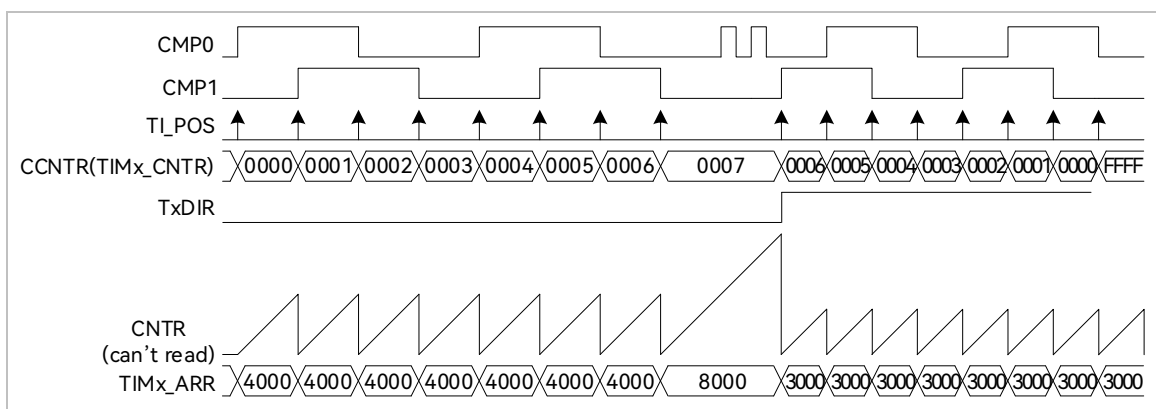
15.2.5 QEP 输入模式&RSD 模式

图 15-9 QEP 输入模式&RSD 模式原理框图



QEP 输入模式&RSD 模式通过检测 2 个通道的正交输入信号，得到电机的相对位置、方向和速度信息。Timer 的输入引脚 A 和输入引脚 B(QEP 模式)或 CMP0、CMP1(RSD 模式)作为输入信号源，经过滤波模块后送进正交解码模块，得到有效的计数沿和方向 TIMx_CR1[TxDIR]。

图 15-10 QEP 输入模式 & RSD 模式时序图



专用计数器是一个向上向下计数器，信号源为正交解码模块输出的有效计数沿。TIMx_CR1[TxDIR] = 0，方向为正，向上计数，当有效沿来临，专用计数器加 1；TIMx_CR1[TxDIR] = 1，方向为反，向下计数，当有效沿来临，专用计数器减 1。QEP 输入模式下，配置编码器码值 TIMx_DR，正方向专用计数器向上计数到 TIMx_DR 时清 0 重新计数；反方向专用计数器向下计数到 0 时，设为 TIMx_DR 值重新计数。QEP

编码器机械零点 Z 信号输入，产生 TIMx_SR1[TxIR]中断事件标志位，Timer5 的零点信号输入端口如表 15-4 所示。

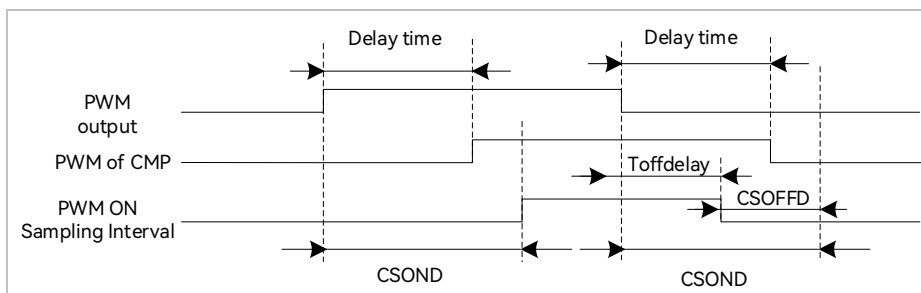
表 15-4 Timer5 的零点信号输入端口

Timer5 的零点信号输入端口	
TIMER5_QEP_Z_InputPort	PA6

基本计数器是一个向上计数器，计数时钟可分频，用于记录两个有效计数沿的时间。当有效计数沿来临，基本计数器当前的计数值存进 TIMx_ARR，同时基本计数器清 0，TIMx_SR[TxIP]中断事件标志位置 1。当基本计数器计数到 0xFFFF，计数溢出，产生 TIMx_SR[TxIF]中断事件标志位。

15.2.5.1 RSD 的比较器采样

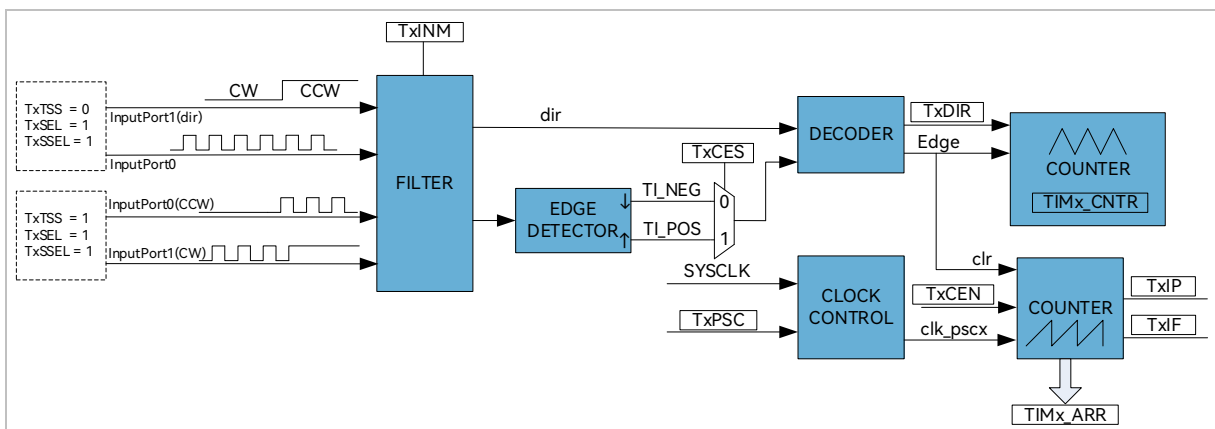
图 15-11 PWM ON 采样模式



RSD 采样时，为确保采样到正确的反电动势比较信号，需要设置采样开始延迟时间和采样结束提前时间。详细请参考章节 31.1.8。

15.2.5.2 步进模式

图 15-12 步进模式原理框图



步进模式通过检测 2 个通道的输入，得到步进电机的相对位置、方向和速度信息。方向输入引脚和脉冲输入引脚如图所示。

表 15-5 Timer5/6 输入通道映射引脚

Timer 模块	方向输入引脚	脉冲输入引脚
Timer5	PA5	PA4
Timer6	PA8	PA7

根据 TIMx_CR0[TxCES]选择上升沿或下降沿作为有效沿，经过滤波模块后送进解码模块，得到有效的计数沿和方向 TIMx_CR1[TxDIR]。



备注:

在方向输入变化且脉冲输入有效沿来临后，TIMx_CR1[TxDIR]才会发生变化。如需在方向输入变化时立即产生中断，应使用外部中断。

图 15-13 步进模式时序图

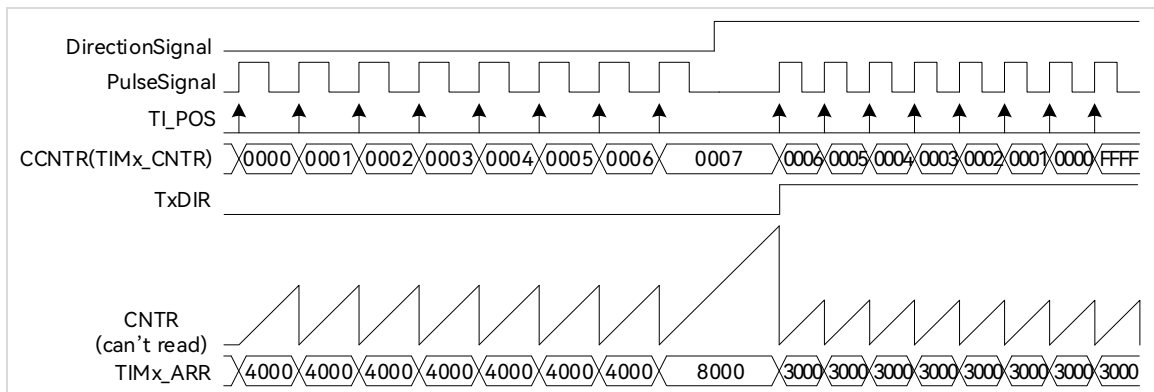
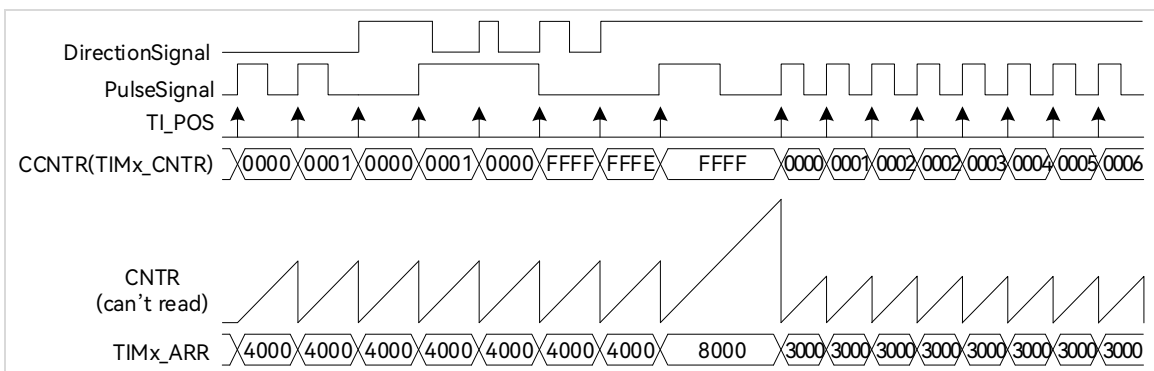


图 15-14 步进模式正反向脉冲输入模式时序图(选择上升沿作为有效沿)

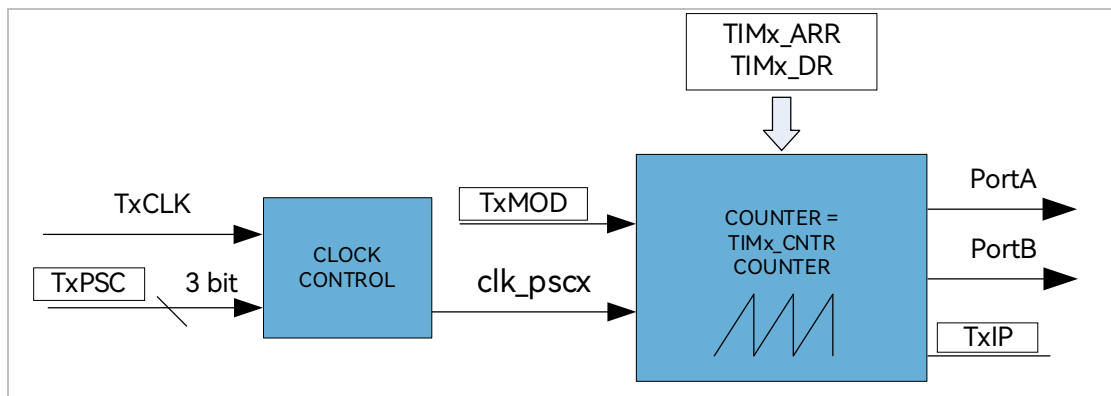


专用计数器是一个向上向下计数器，信号源为编码模块输出的有效计数沿。输入方向信号为 0 时，TIMx_CR1[TxDIR] = 0，方向为正，当脉冲信号有效沿来临时，专用计数器 CCNTR 向上计数，专用计数器加 1；当输入方向信号为 1 时，TIMx_CR1[TxDIR] = 1，方向为反，当脉冲信号有效沿来临时，CCNTR 向下计数，专用计数器减 1。专用计数器从 0 加到 0xFFFFFFFF 后自动清 0，从 0xFFFFFFFF 减到 0 后自动设为 0xFFFFFFFF。读寄存器 TIMx_CNTR 的值得到专用计数器的值。

基本计数器是一个向上计数器，以分频器输出为时钟源，用于记录两个有效计数沿之间的时间。当有效计数沿来临，基本计数器当前的计数值被存进 TIMx_ARR，基本计数器清 0 并重新开始计数，同时 TIMx_SR[TxIP]中断事件标志位被置 1。当基本计数器计数到 0xFFFFFFFF，计数溢出，TIMx_SR[TxIF]中断事件标志位被置 1。

15.2.6 QEP 输出模式

图 15-15 QEP 输出模式原理框图



配置 TIMx_CR0[TxMOD] = 100，Timer 进入 QEP 输出模式，可产生互差 90°的正交 A、B 信号。

QEP 输出模式下，设置 TIMx_ARR 的值，该值为一个中断周期内的计数个数。设置 TIMx_DR 的值，为 A、B 信号步进值，TIMx_DR 与中断频率共同决定 QEP 输出频率。TIMx_CNTR 为基本计数器的计数值，基本计数器 COUNTER 会以 TIMx_DR 值增加，一直加到设置的 TIMx_ARR 值后产生一次 AB 信号的有效沿，TIMx_SR[TxIP]中断事件标志置 1，COUNTER 清 0 重新计数。

15.3 Timer5/6 寄存器

15.3.1 TIMx_CR0 (CSR:0x240/0x250) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																					TxINM			TxPSC			TxCES		TxDIRIN		TxMOD		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

位	名称	描述
[31:11]	RSV	保留

[10:8]	TxINM	<p>输入信号滤波选择</p> <p>当输入信号的脉宽小于特定时钟周期时，被当作噪声滤除。</p> <p>假设系统时钟为 48MHz(20.834ns)</p> <p>000: 不滤波 001: 按 2 个时钟周期滤波</p> <p>010: 按 3 个时钟周期滤波 011: 按 4 个时钟周期滤波</p> <p>100: 按 5 个时钟周期滤波 101: 按 6 个时钟周期滤波</p> <p>110: 按 7 个时钟周期滤波 111: 按 8 个时钟周期滤波</p>
[7:5]	TxPSC	<p>基本计数器时钟源分频选择</p> <p>用于对系统时钟进行分频作为基本计数器的时钟源，分频后的时钟源频率为:</p> <p>000: 48MHz 001: 24MHz</p> <p>010: 12MHz 011: 6MHz</p> <p>100: 3MHz 101: 1.5MHz</p> <p>110: 750kHz 111: 375kHz</p>
[4]	TxCES	<p>输出模式: 无意义</p> <p>输入捕获模式: 计数沿选择</p> <p>0: 相邻两个上升沿为 1 个周期，上升沿到下降沿为脉宽(高电平脉宽)</p> <p>1: 相邻两个下降沿为 1 个周期，下降沿到上升沿为脉宽(低电平脉宽)</p> <p>输入计数模式: 计数有效沿选择</p> <p>0: 下降沿计数</p> <p>1: 上升沿计数</p> <p>QEP 输入模式&RSD 模式: 外部中断 EXT11(零点)清 0 脉冲计数器使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>步进模式: 计数有效沿选择</p> <p>0: 下降沿计数</p> <p>1: 上升沿计数</p>
[3]	TxDIRIN	<p>步进模式时方向输入信号的极性设置</p> <p>0: 低电平为正转，高电平为反转</p> <p>1: 低电平为反转，高电平为正转</p>
[2:0]	TxMOD	<p>模式选择</p> <p>000: 输入捕获模式</p> <p>001: 输出模式</p> <p>010: 输入计数模式</p> <p>011: QEP 输入&RSD 模式或步进模式</p> <p>100: QEP 输出模式</p>

15.3.2 TIMx_CR1 (CSR:0x241/0x251) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																								TxOPM	TxQEP_IN_CNTR_CLR	TxZ_EDGE_SEL	TxSS	RSV	TxOCM	Tx_DIR_R	TxEN	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW	r	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7]	TxOPM	单次模式
[6]	TxQEP_IN_CNTR_CLR	QEP 输入模式，检测到 Z 输入信号的有效沿，是否将 TIMx_CNTR 清 0 0: 不清 0 1: 清 0
[5]	TxZ_EDGE_SEL	QEP 输入模式下 Z 信号有效沿选择 0: 上升沿有效 1: 下降沿有效 QEP 输出模式下 Z 信号极性配置 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[4]	TxSS	步进模式下双脉冲使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	RSV	保留
[2]	TxOCM	输出模式下输出模式选择 0: TIMx_CNTR < TIMx_DR，输出 0；TIMx_CNTR ≥ TIMx_DR，输出 1 1: TIMx_CNTR < TIMx_DR，输出 1；TIMx_CNTR ≥ TIMx_DR，输出 0 输入计数模式: 无意义 输入捕获模式: TIMx_CNTR 计数溢出时，TIMx_DR 指示输入电平选择

		<p>0: 若溢出时输入是低电平, TIMx_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入是高电平, TIMx_DR 硬件设为 0xFFFF</p> <p>1: 若溢出时输入是高电平, TIMx_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入是低电平, TIMx_DR 硬件设为 0xFFFF</p> <p>QEP 输入模式 & RSD 模式和步进模式选择</p> <p>0: QEP 输入模式 & RSD 模式</p> <p>1: 步进模式</p>
[1]	Tx_DIR_R	<p>QEP&RSD: 电机旋转方向表示</p> <p>根据两路输入信号的相位关系, 指示电机旋转方向</p> <p>步进模式: 电机旋转方向表示</p> <p>根据方向信号的变化, 指示电机旋转方向</p> <p>0: 正向</p> <p>1: 反向</p>
[0]	TxEN	<p>定时器使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p>

15.3.3 TIMx_IER (CSR:0x242/0x252) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																											TxIRE	TxIPE	TxIFE			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≐	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

位	名称	描述
[31:3]	RSV	保留
[2]	TxIRE	<p>输出模式: 比较匹配中断使能</p> <p>输入捕获模式: 脉宽检测中断使能</p> <p>输入计数模式: 无意义</p> <p>RSD 模式: 方向改变中断使能</p> <p>QEP 输入模式: 检测到 Z 有效沿到来时中断使能</p> <p>步进模式: 方向改变中断使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p>
[1]	TxIPE	<p>输出模式: 无意义</p> <p>输入捕获模式: PWM 周期检测中断使能</p> <p>输入计数模式: 输入 PWM 计数匹配中断使能</p>

		QEP 输出模式: A、B 沿中断使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	TxIFE	输出模式: 基本计数器上溢中断使能 输入捕获模式: 基本计数器上溢中断使能 输入计数模式: 基本计数器上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能

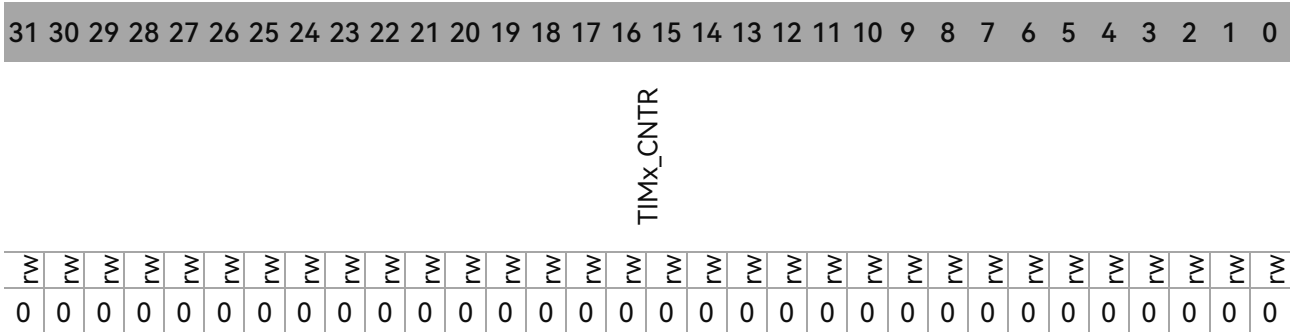
15.3.4 TIMx_SR (CSR:0x243/0x253) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
RSV																											TxIR	TxIP	TxIF						
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw0	rw0	rw0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

位	名称	描述
[31:3]	RSV	保留
[2]	TxIR	输出模式: 比较匹配中断事件标志位 输入捕获模式: 脉宽检测中断事件标志位 输入计数模式: 无意义 QEP 输入模式: 检测到 Z 有效沿到来时中断事件标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[1]	TxIP	输出模式: 无意义 输入捕获模式: PWM 周期检测中断事件标志位 输入计数模式: 输入 PWM 计数匹配中断事件标志位 QEP 输入模式&RSD 模式&步进模式: 输入有效边沿检测中断事件标志位 QEP 输出模式: A、B 沿中断事件标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写:

		<p>0: 清 0 1: 无意义</p>
[0]	TxIF	<p>输出模式: 基本计数器上溢中断事件标志位, 当基本计数器值 TIMx_CNTR 与比较值 TIMx_ARR 匹配时置 1。</p> <p>输入捕获模式: 基本计数器上溢中断事件标志位, Timer 尚未检测到输入一个 PWM 周期而基本计数器的值 TIMx_CNTR 累加到 0xFFFF 时置 1。</p> <p>输入计数模式: 专用计数器上溢中断事件标志位, 当输入 PWM 的个数尚未达到 TIMx_DR 的值, 而基本计数器的值 TIMx_CNTR 累加到 0xFFFF 时置 1。</p> <p>QEP 输入模式 & RSD 模式 & 步进模式: 基本计数器上溢中断事件标志位, 当基本计数器累加到 0xFFFF 时置 1, 基本计数器清 0。</p> <p>读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件</p> <p>写: 0: 清 0 1: 无意义</p>

15.3.5 TIMx_CNTR (CSR:0x244/0x254) (x=5/6)



位	名称	描述
[31:0]	TIMx_CNTR	<p>输出模式/输入捕获模式/输入计数模式: 基本计数器的计数值</p> <p>QEP 输入模式 & RSD 模式/步进模式(32bit): 专用计数器的计数值, 当 QEP Z 输入信号有效沿到来, 并且 TIMx_CR1[TxQEP_IN_CNTR_CLR]使能时, 此计数值清 0</p>

15.3.6 TIMx_DR (CSR: 0x245/0x255) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																TIMx_DR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

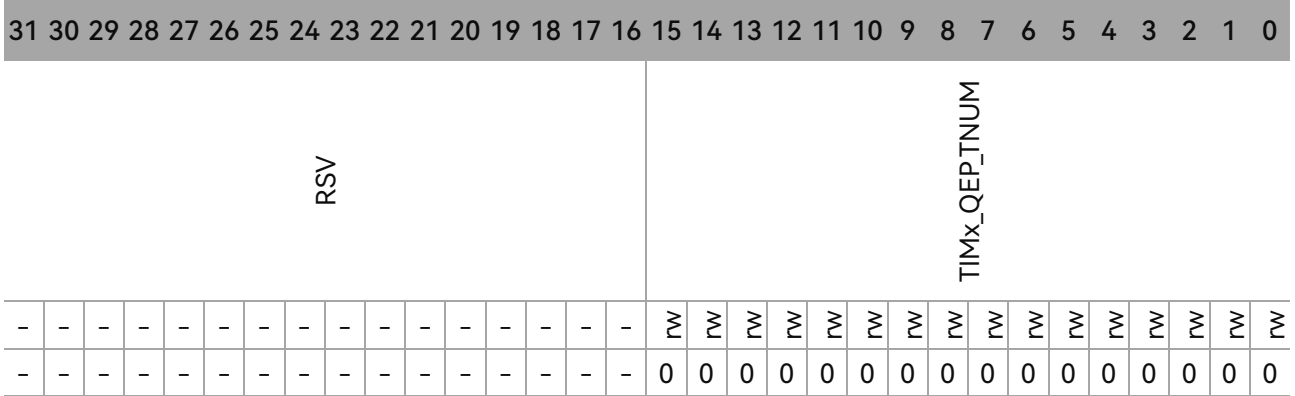
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	TIMx_DR	输出模式: 比较匹配值(软件写) 输入捕获模式: 检测到的输入脉宽的计数值(硬件写) 输入计数模式: 需要计数 PWM 的个数(软件写) QEP 输入模式&RSD 模式(32bit): 单圈最大脉冲计数值(软件写), TIM2_CNTR 能累加的最大值, 大于此值后计数回到 0, 小于 0 后计数回到此值 步进模式: 无意义 QEP 输出模式: A、B 编码的步进值(软件写), TIMx_DR[15]为 0, A 超前 B 90°; TIMx_DR[15]为 1, A 滞后 B 90°。每个主时钟都会加载新的 TIMx_DR 进行计算, 若配置 TIMx_CR1[TxQEP_IN_CNTR_CLR]为 1, 则当载波中断到来时才加载新的 TIMx_DR 进行计算

15.3.7 TIMx_ARR (CSR:0x246/0x256) (x=5/6)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																TIMx_ARR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

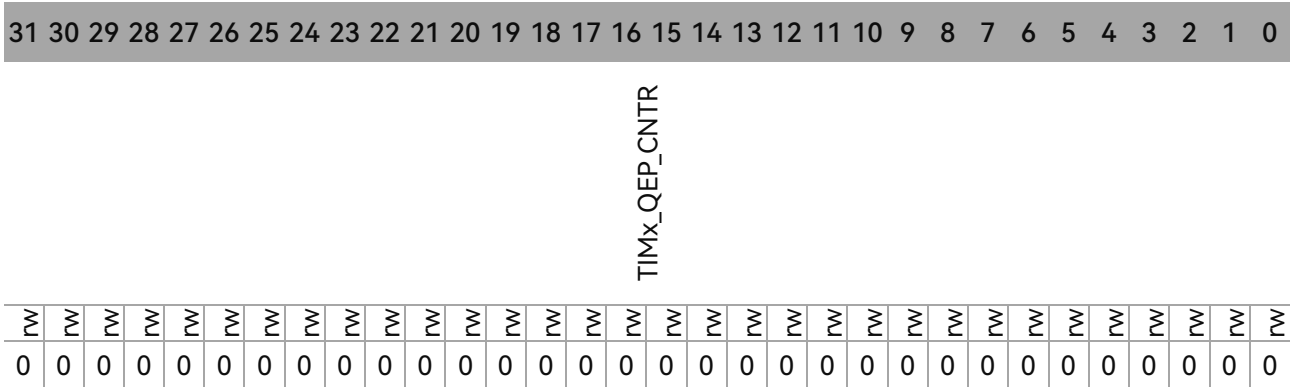
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	TIMx_ARR	输出模式: PWM 波形周期(软件写) 输入捕获模式: 检测一个 PWM 周期时基本计数器的计数值(硬件写) 输入计数模式: 输入 PWM 计数匹配时基本计数器的计数值(硬件写)

15.3.10 TIMx_QEP_TS_EMP (CSR:0x249/0x259) (x=5/6)



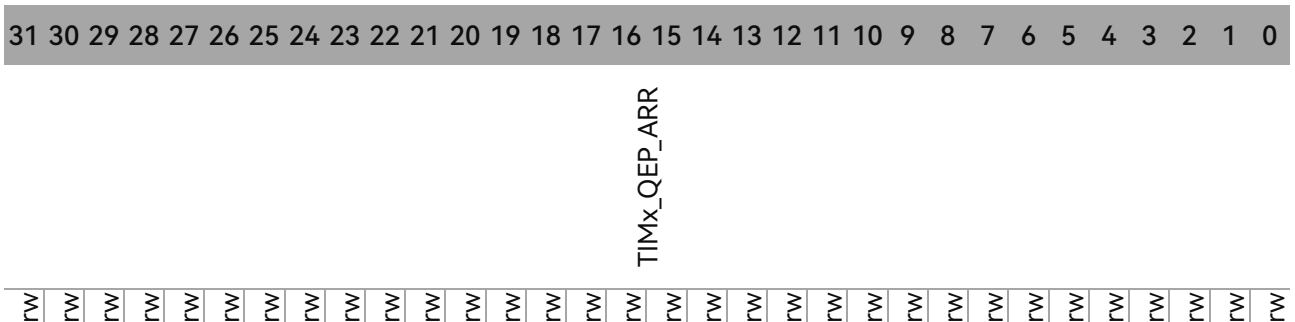
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	TIMx_QEP_TS_EMP	QEP 输入模式: 相邻载波中断间没有有效沿到来的空载波中断的计数值

15.3.11 TIMx_QEP_CNTR (CSR: 0x24A/0x25A) (x=5/6)



位	名称	描述
[31:0]	TIMx_QEP_CNTR	QEP 输入模式: 输入有效沿的计数值 QEP 输出模式: 输出有效沿的计数值

15.3.12 TIMx_QEP_ARR (CSR: 0x24B/0x25B) (x=5/6)



0 0

位	名称	描述
[31:0]	TIMx_QEP_ARR	QEP 输入模式: Z 信号有效沿到来时锁存 TIMx_CNTR QEP 输出模式: 当 TIMx_QEP_CNTR = {TIMx_QEP_ARR[29:0]-1, 2'b11} 时, TIMx_QEP_CNTR 清零, 同时产生一个 Z 脉冲 当 TIMx_QEP_ARR[29:0] 等于 0 时, Z 输出固定电平, 极性由 TIMx_CR1[TxZ_EDGE_SEL]进行配置

15.3.13 TIM5_CR2 (CSR:0x24C)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

RSV																								T5B_EDGE_SEL	T5A_EDGE_SEL	T5_Z_SEL	T5_AB_SEL								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:6]	RSV	保留
[5]	T5B_EDGE_SEL	QEP B 输出极性配置 0: 初始电平为低电平 1: 初始电平为高电平
[4]	T5A_EDGE_SEL	QEP A 输出极性配置 0: 初始电平为低电平 1: 初始电平为高电平
[3:2]	T5_Z_SEL	QEP Z 输出选择 00: Timer5 的计算输出 01: 无输入 10: 直通输出 Timer6 的输入
[1:0]	T5_AB_SEL	QEP AB 输出选择 00: Timer5 的计算输出 01: 无输入 10: 直通输出 Timer6 的输入

15.3.14 TIM6_CR2 (CSR:0x25C)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																								T6B_EDGE_SEL	T6A_EDGE_SEL	T6_Z_SEL	T6_AB_SEL				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	rW	rW	rW	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:6]	RSV	保留
[5]	T6B_EDGE_SEL	QEP B 输出极性配置 0: 初始电平为低电平 1: 初始电平为高电平
[4]	T6A_EDGE_SEL	QEP A 输出极性配置 0: 初始电平为低电平 1: 初始电平为高电平
[3:2]	T6_Z_SEL	QEP Z 输出选择 00: Timer6 的计算输出 01: 无输入 10: 直通输出 Timer5 的输入
[1:0]	T6_AB_SEL	QEP AB 输出选择 00: Timer6 的计算输出 01: 无输入 10: 直通输出 Timer5 的输入

16 Timer3/4/7/8

16.1 Timer3/4/7/8 操作说明

Timer3/Timer4/Timer7/Timer8 支持输出和输入两种模式:

- > 输出模式: 输出PWM波形
- > 输入捕获模式: 检测输入PWM高低电平的持续时间, 可用于算出PWM占空比

Timer3/Timer4/Timer7/Timer8 特性包括:

- > 3位可编程分频器对系统时钟进行分频, 作为基本计数器的时钟源(Timer3/Timer8作为输入捕获时可以倍频至 $2 * SYSCLK$)。
- > 16位向上计数的基本计数器, 计数时钟源为分频器的输出
- > 输入信号滤波
- > 输入信号边沿检测
- > 输出PWM信号, 单次比较输出
- > 中断事件

16.1.1 分频器

分频器对系统时钟进行分频, 产生基本计数器的计数时钟源。分频器由 $TIMx_CR0[TxPSC]$ 控制, 可选择 8 种分频系数。由于这个控制寄存器没有缓冲器, 分频系数更新后会立刻改变时钟源频率, 所以应在基本计数器不工作时更新分频系数。时钟源的频率为 $clk_psc = SYSCLK / (2^{TxPSC})$ 。分频后的时钟源频率与 $TIMx_CR0[TxPSC]$ 的关系如表 16-1 所示。

表 16-1 分频后的时钟源频率与 $TIMx_CR0[TxPSC]$ 对应关系

$TIMx_CR0[TxPSC]$	分频系数	$TIMx_CR0[TxPSC]$	分频系数
000	1	100	16
001	2	101	32
010	4	110	64
011	8	111	128



备注:

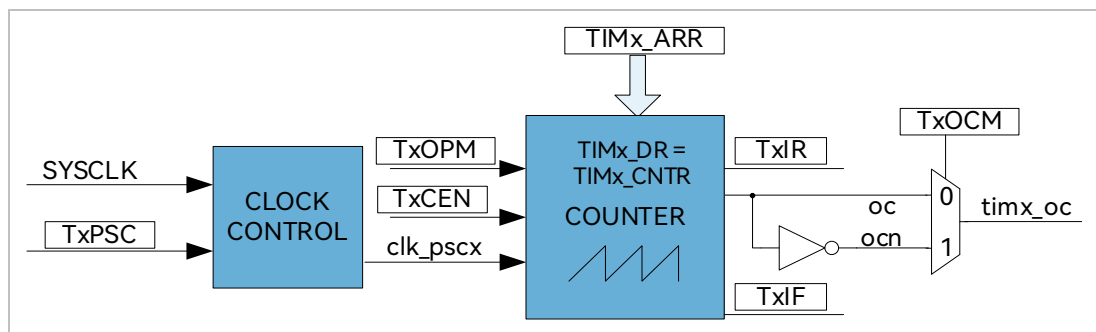
Timer3/Timer8 的输入捕获模式下, $TIM3_CR0[T3PSC] = 111$ 和 $TIM8_CR0[T8PSC] = 111$ 对应的是 $2 * SYSCLK$

16.1.2 TIMx_CNTR 的读写和计数

$TIMx_CR1[TxEN] = 1$ 后 $TIMx_CNTR$ 开始计数。软件对 $TIMx_CNTR$ 的写操作将直接改变寄存器的值, 因此软件需在计数器停止时执行写操作。

16.1.3 输出模式

图 16-1 输出模式原理框图



基本计数器输出模式根据 $TIMx_CR0[TxOCM]$ 设置, 以及 $TIMx_CNTR$ 与寄存器 $TIMx_DR$ 、 $TIMx_ARR$ 设定值的比较结果产生输出信号, 同时产生相应中断。

16.1.3.1 高/低电平输出模式

配置 $TIMx_CR0[TxOCM] = 0$ 时, 如果 $TIMx_DR > TIMx_ARR$, 则输出信号始终为低电平。配置 $TIMx_CR0[TxOCM] = 1$ 时, 如果 $TIMx_DR > TIMx_ARR$, 则输出信号始终为高电平。

16.1.3.2 PWM 输出

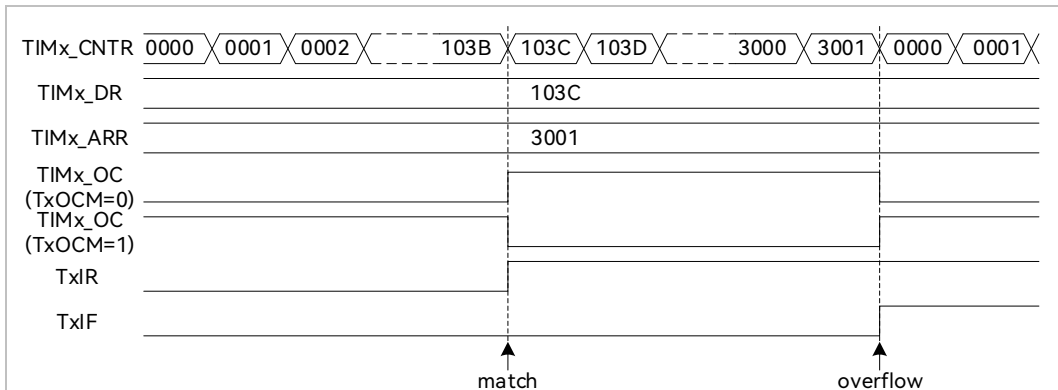
PWM 输出模式下, $TIMx_ARR$ 的设定值决定 PWM 周期, $TIMx_DR$ 的设定值决定占空比, 占空比 = $TIMx_DR / TIMx_ARR * 100\%$ 。配置 $TIMx_CR0[TxOCM] = 0$ 时, 如果基本计数器值 $TIMx_CNTR < TIMx_DR$ 设定值, 输出低电平, 反之输出高电平。配置 $TIMx_CR0[TxOCM] = 1$ 时, 如果基本计数器值 $TIMx_CNTR < TIMx_DR$ 设定值, 输出高电平, 反之输出低电平。如果基本计数器值 $TIMx_CNTR$ 大于 $TIMx_ARR$, 则输出信号反转。

16.1.3.3 中断事件

- 当 $TIMx_CNTR = TIMx_DR$, 产生比较匹配事件, 中断事件标志位 $TIMx_SR[TxIR]$ 置 1, 基本计数器继续计数。

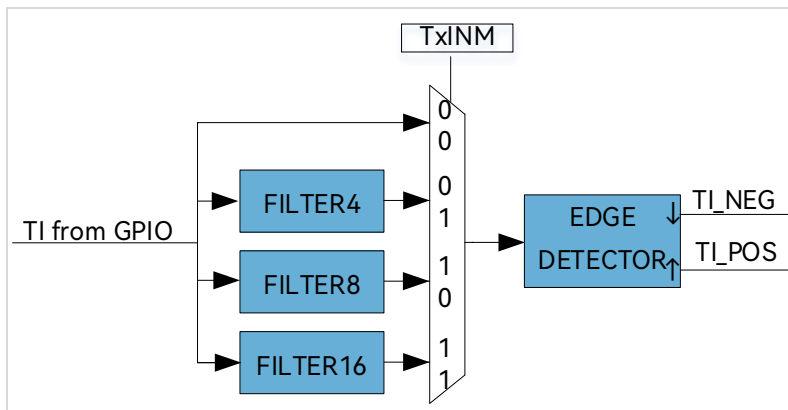
- 当TIMx_CNTR = TIMx_ARR，产生上溢事件，中断事件标志位TIMx_SR[TxIF]置1，基本计数器清0，TIMx_CR0[TxOPM]决定是否重新计数，TIMx_CR0[TxOPM] = 1，停止计数，TIMx_CR0[TxOPM] = 0，重新开始计数。

图 16-2 输出模式输出波形



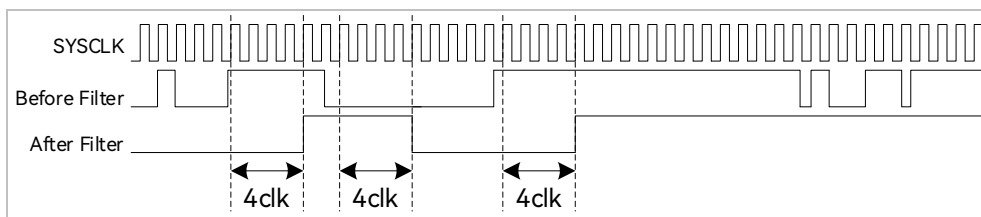
16.1.4 输入信号滤波和边沿检测

图 16-3 输入信号滤波和边沿检测框图



Timer3/4/7/8 的输入信号由 GPIO 输入。TIMx_CR0[TxINM]可以选择不滤波，或者 4/8/16 个系统时钟周期对输入信号滤波。滤波后的信号比滤波前的信号延迟 4/8/16 个时钟周期。

图 16-4 滤波模块时序图

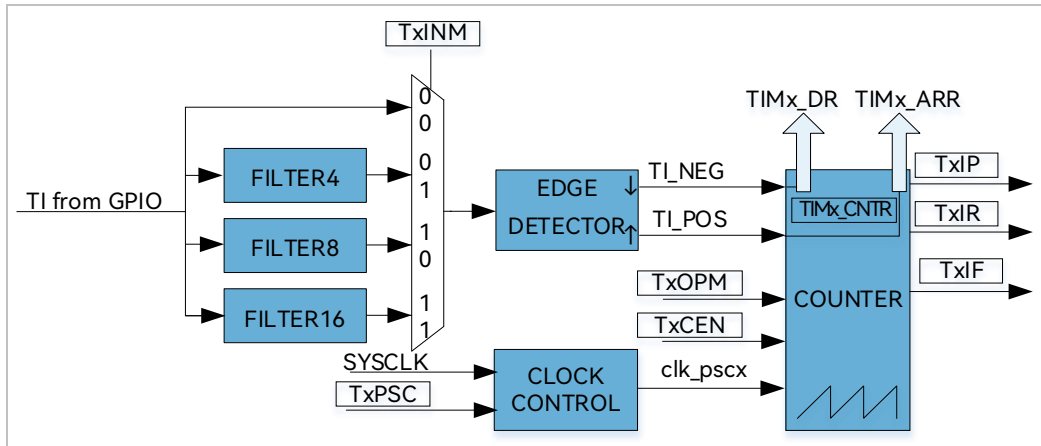


滤波模块对输入信号滤波后，边沿检测模块对滤波后的输入信号进行检测，记录上升沿和下降沿，供输

入捕获模式使用。

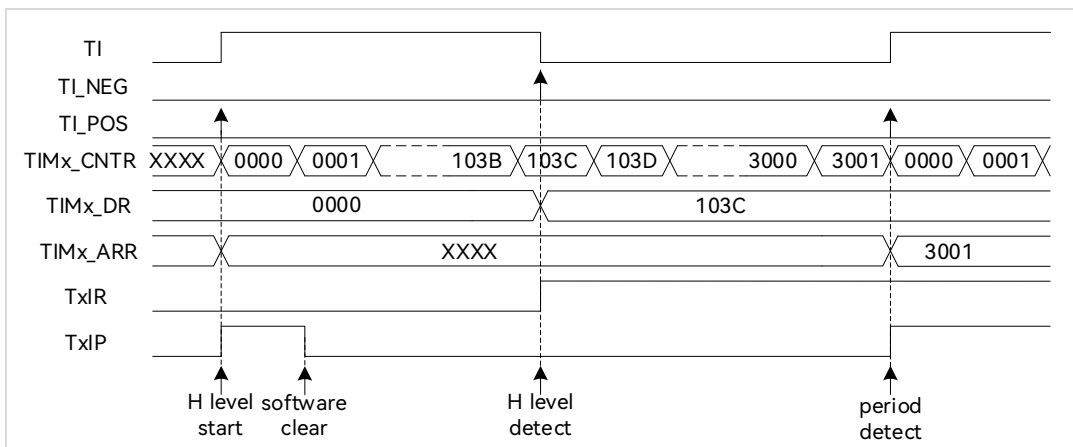
16.1.5 输入捕获模式

图 16-5 输入捕获模式原理框图



输入捕获模式检测输入 PWM 信号的脉宽和周期。TIMx_CR0[TxOCM] = 0 时，选择相邻两个上升沿为 1 个周期，上升沿到下降沿为脉宽(高电平脉宽)。TIMx_CR0[TxOCM] = 1 时，选择相邻两个下降沿为 1 个周期，下降沿到上升沿为脉宽(低电平脉宽)。基本计数器 TIMx_CNTR 计数到的脉宽和周期值被分别存入 TIMx_DR 和 TIMx_ARR 寄存器。

图 16-6 输入捕获模式(TIMx_CR0[TxOCM] = 0)时序图



以 TIMx_CR0[TxOCM] = 0 为例，配置 TIMx_CR1[TxEN] = 1，使能基本计数器。基本计数器向上计数，当检测到第一个上升沿时，基本计数器清 0 并重新开始计数。当检测到下降沿时，将 TIMx_CNTR 的值存进 TIMx_DR，同时中断事件标志位 TIMx_SR[TxIR]置 1，TIMx_CNTR 继续向上计数。当检测到输入的第二个上升沿时，将 TIMx_CNTR 的值存进 TIMx_ARR，同时中断事件标志位 TIMx_SR[TxIP]置 1，TIMx_CNTR 清 0，根据 TIMx_CR0[TxOPM]决定是否重新开始计数，TIMx_CR0[TxOPM] = 1，停止计数；


TIMx_CR0[TxOPM] = 0, 重新计数。

当 Timer3/Timer4/Timer7/Timer8 尚未检测到输入的第二个上升沿, 且计数值 TIMx_CNTR 达到 0xFFFF 时, 发生上溢事件, 中断事件标志位 TIMx_SR[TxIF]置 1, TIMx_CNTR 清 0。根据 TIMx_CR0[TxOPM]决定是否重新计数, TIMx_CR0[TxOCM] = 1, 停止计数; TIMx_CR0[TxOPM] = 0, 重新计数。此时 TIMx_ARR 的值为 0xFFFF, TIMx_DR 的值由输入电平和 TIMx_CR0[TxOCM]异或决定。

16.2 Timer3/4/7/8 寄存器

16.2.1 TIMx_CR0 (CSR:0x220/0x230/0x260/0x270) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
RSV																							TxPSC		TxFE		TxOCM	TxOPM	TxMOD										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0							

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:5]	TxPSC	基本计数器时钟源分频选择 用于对系统时钟进行分频作为基本计数器的时钟源, 分频后的时钟源频率为: 000: SYSCLK 001: SYSCLK/2 010: SYSCLK/4 011: SYSCLK/8 100: SYSCLK/16 101: SYSCLK/32 110: SYSCLK/64 111: SYSCLK/128  备注: Timer3/Timer8 的输入捕获模式下, 111 对应的是 2 * SYSCLK
[4:3]	TxFE	输入信号滤波脉宽选择 当输入信号的脉宽小于设定值, 被当作噪声滤除 00: 不滤波

		01: 4 个系统时钟周期 10: 8 个系统时钟周期 11: 16 个系统时钟周期
[2]	TxOCM	输出模式: 输出模式选择 0: TIMx_CNTR < TIMx_DR, 输出 0; TIMx_CNTR ≥ TIMx_DR, 输出 1 1: TIMx_CNTR < TIMx_DR, 输出 1; TIMx_CNTR ≥ TIMx_DR, 输出 0 输入捕获模式: 有效沿选择或发生上溢事件时, TIMx_DR 指示输入电平选择 有效沿选择 0: 相邻两个上升沿为 1 个周期, 上升沿到下降沿为脉宽(高电平脉宽) 1: 相邻两个下降沿为 1 个周期, 下降沿到上升沿为脉宽(低电平脉宽) 发生上溢事件时, TIMx_DR 指示输入电平选择 0: 若溢出时输入是低电平, TIMx_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入电平高电 平, TIMx_DR 硬件设为 0xFFFF 1: 若溢出时输入是高电平, TIMx_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入电平低电 平, TIMx_DR 硬件设为 0xFFFF
[1]	TxOPM	单次模式 下列事件发生时, 基本计数器停止计数使能 输出模式: 基本计数器上溢事件 输入捕获模式: PWM 周期检测或基本计数器上溢事件 0: 基本计数器不停止 1: 基本计数器停止(TIMx_CR1[TxEN]清 0)
[0]	TxMOD	工作模式选择 0: 输入捕获模式 1: 输出模式

16.2.2 TIMx_CR1 (CSR:0x221/0x231/0x261/0x271) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
RSV																											TxEN							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RZ
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

位	名称	描述
[31:1]	RSV	保留
[0]	TxEN	基本计数器使能 0: 不使能

1: 使能

16.2.3 TIMx_IER (CSR:0x222/0x232/0x262/0x272) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																											TxIRE	TxIPE	TxIFE		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
																											r/w	r/w	r/w		
																											0	0	0		

位	名称	描述
[31:3]	RSV	保留
[2]	TxIRE	输出模式: 比较匹配中断使能 输入捕获模式: 脉宽检测中断使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	TxIPE	输出模式: 无意义 输入捕获模式: PWM 周期检测中断使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	TxIFE	输出模式: 基本计数器上溢中断使能 输入捕获模式: 基本计数器上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能

16.2.4 TIMx_SR (CSR:0x223/0x233/0x263/0x273) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																											TxIR	TxIP	TxIF		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
																											r/w	r/w	r/w		
																											0	0	0		

位	名称	描述
[31:3]	RSV	保留
[2]	TxIR	输出模式: 比较匹配中断事件标志位

		<p>输入捕获模式: 脉宽检测中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[1]	TxIP	<p>输出模式: 无意义</p> <p>输入捕获模式: PWM 周期检测中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>
[0]	TxIF	<p>输出模式: 基本计数器上溢中断事件标志位, 当基本计数器值 TIMx_CNTR 与比较值 TIMx_ARR 匹配时置 1。</p> <p>输入捕获模式: 基本计数器上溢中断事件标志位, Timer 尚未检测到输入一个 PWM 周期而基本计数器的值 TIMx_CNTR 累加到 0xFFFF 时置 1。</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p>

16.2.5 TIMx_CNTR (CSR:0x224/0x234/0x264/0x274) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																TIMx_CNTR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留

[15:0]	TIMx_CNTR	基本计数器的计数值
--------	-----------	-----------

16.2.6 TIMx_DR (CSR:0x225/0x235/0x265/0x275) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																TIMx_DR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	TIMx_DR	输出模式: 比较匹配值 输入捕获模式: 检测到的输入脉宽的计数值(硬件写)

16.2.7 TIMx_ARR (CSR:0x226/0x236/0x266/0x276) (x = 3/4/7/8)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																TIMx_ARR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	TIMx_ARR	输出模式: 重载值(软件写)。 输入捕获模式: 检测到一个 PWM 周期的计数值(硬件写)

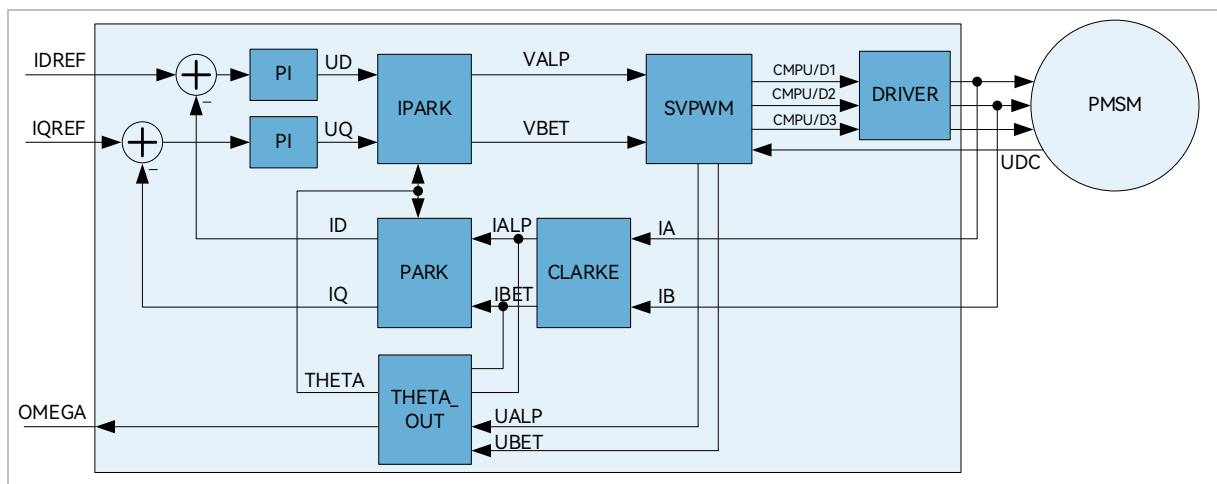
17 ME

17.1 ME 简介

ME 模块为峰岬电机控制引擎。主要用于基于无感 FOC、有感 FOC 和 SVPWM 的电机驱动应用场合。ME 模块中包含 2 个 Driver 控制器，可实现对 2 个电机的独立控制。

ME 模块可实现 FOC 电流闭环控制、包括坐标转换、PI 控制和 SVPWM。角度输出模块利用电机电流、电压信号估算转子位置，实现基于无感 FOC 的电机控制；也可通过 MCU 处理位置传感器信号获取转子位置，实现基于有感 FOC 的电机控制。

图 17-1 FOC 示意图

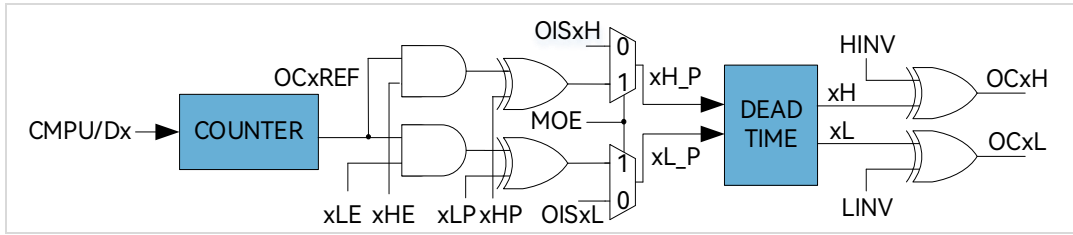


此外，ME 模块可实现 Driver 控制、FOC 电流环、角度输出、FOC 外环、爬坡计算、功率计算、弱磁、端电压、UQ 注入、软件调用 CORDIC、角度融合、电流环解耦、ME 中断源和高速电压相位补偿等功能。

17.2 Driver 控制器

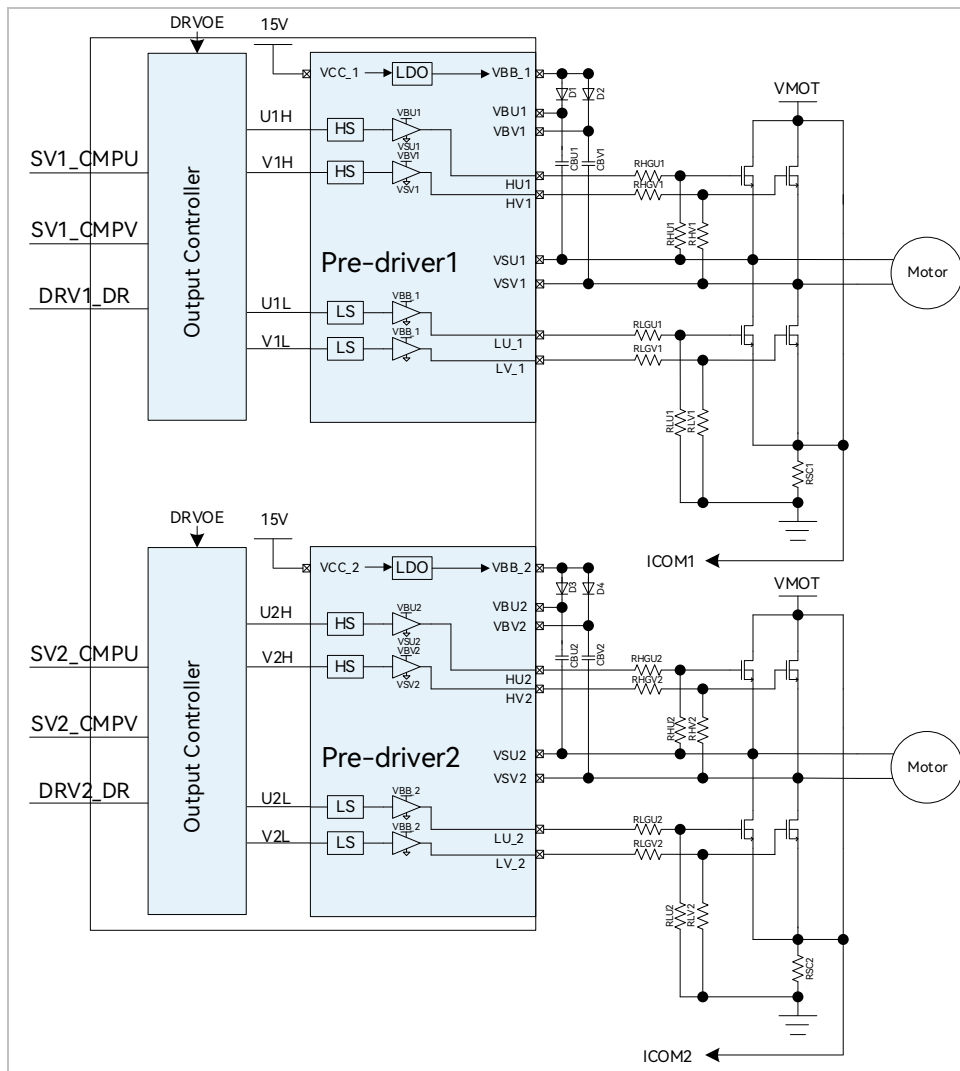
Driver 控制器用于 PWM 信号的产生，根据三相比较值输出 6 路 PWM 信号控制 U/V 两相的上下 MOS 管的开通/关断，从而实现对电机的控制。芯片中包含 2 个 Driver 控制器：Driver1 控制器和 Driver2 控制器，Driver1(2)控制器可根据 Driver1(2)寄存器的配置输出两相 PWM 信号。

图 17-2 Driver 控制器实现原理图



17.2.1 4N Pre-driver 简介

图 17-3 4N Pre-driver 模块框图



4N Pre-driver 驱动模块如图 17-3 所示， U_{xH}/V_{xH} 和 U_{xL}/V_{xL} 两相 PWM 信号为 Pre-driver 的输入信号， H_{PUx}/H_{PVx} 及 L_{Ux}/L_{Vx} 引脚为 Pre-driver 的输出信号。注意 H_{PUx}/H_{PVx} 与内部信号 U_{xH}/V_{xH} 为反向关系。DRVx_CR[DRVOE]为 Pre-driver 的使能位。

配置寄存器 $DRVx_CR[DRVOE] = 1$ ，使能 Pre-driver 输出，此时 UxH/VxH 分别被反向后送至 H_PUx/H_PVx 引脚用于驱动 PMOS 的栅极， UxL/VxL 分别被送至 L_Ux/L_Vx 引脚用于驱动 NMOS 的栅极。PMOS 和 NMOS 输出电压驱动电机运转。

表 17-1 4N 内置 Pre-driver 信号真值表

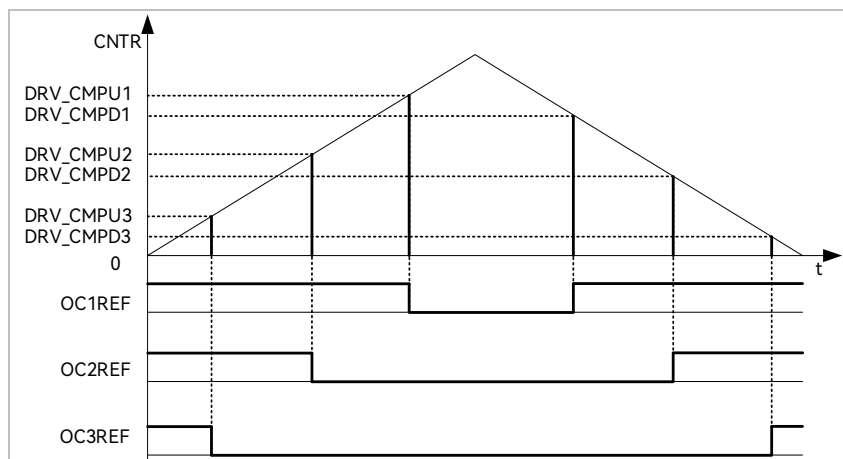
Input		Output	
UxH/VxH	UxL/VxL	HxU/HxV	LxU/LxV
L	L	H	L
L	H	H	H
H	L	L	L
H	H	L	H

17.2.2 计数比较

$DRVx_CNTR$ 为 Driver 计数器。当计数器使能位 $DRVx_CR[DRVEN] = 0$ 时， $DRVx_CNTR$ 不计数；当计数器使能位 $DRVx_CR[DRVEN] = 1$ 时， $DRVx_CNTR$ 先从 0 向上计数至 $DRVx_ARR$ ，再向下计数至 1，以此循环往复。载波频率 $f_{carrier} = f_{CLK} / (DRVx_ARR * 2)$ 。

三相比较值 $OCxREF$ 由 6 个三相比较值寄存器确定： $DRVx_CMPU1$ 、 $DRVx_CMPD1$ 、 $DRVx_CMPU2$ 、 $DRVx_CMPD2$ 、 $DRVx_CMPU3$ 和 $DRVx_CMPD3$ ，其中 $DRVx_CMPU1$ 和 $DRVx_CMPD1$ 为 A 相比较值， $DRVx_CMPU2$ 和 $DRVx_CMPD2$ 为 B 相比较值， $DRVx_CMPU3$ 和 $DRVx_CMPD3$ 为 C 相比较值。以 A 相为例， $DRVx_CMPU1$ 为 A 相上升计数比较值， $DRVx_CMPD1$ 为 A 相下降计数比较值。当 $DRVx_CMPU1 > DRVx_CNTR$ 时 $OC1REF$ 为 1，当 $DRVx_CMPU1 \leq DRVx_CNTR$ 时 $OC1REF$ 为 0；当 $DRVx_CMPD1 \geq DRVx_CNTR$ 时 $OC1REF$ 为 1，当 $DRVx_CMPD1 < DRVx_CNTR$ 时 $OC1REF$ 为 0。A 相 PWM 占空比 = $(DRVx_CMPU1 + DRVx_CMPD1) / (2 * DRVx_ARR) * 100\%$ 。B 相和 C 相同理。

图 17-4 计数比较示意图



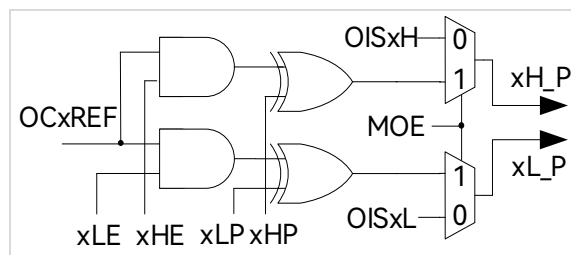
DRVx_DR 寄存器用于同时更新 6 个三相比较值寄存器。当写 DRVx_DR 寄存器后，写入 DRVx_DR 寄存器的值会同时写入 6 个三相比较值寄存器，从而生成 3 路占空比相同的三相比较值 OCxREF。占空比 = $DRVx_DR / DRVx_ARR * 100\%$ 。

若未写三相比较值寄存器或 DRVx_DR，三相比较值寄存器将由 SVPWM 的计算结果更新。

17.2.3 输出使能与极性控制

三相输出使能与输出极性由 DRVx_CMR 寄存器控制，用于实现电机预充电和刹车等功能。三相的上下两管各由 1 位输出使能位 DRVx_CMR[xLE/xHE]和 1 位极性控制位 DRVx_CMR[xLP/xHP]控制。其实现逻辑为 1 个与门和 1 个异或门。

图 17-5 输出使能与极性控制原理图



当输出使能位置 0，极性控制位置 0 时，输出为低电平；当输出使能位置 0，极性控制位置 1 时，输出为高电平；当输出使能位置 1，极性控制位置 0 时，输出与 OCxREF 相同；当输出使能位置 1，极性控制位置 1 时，输出与 OCxREF 相反。

主输出使能由 DRVx_OUT[MOE]控制，当 DRVx_OUT[MOE]置 1 时，输出 xH_P/xL_P 来源于前级逻辑门信号；当 DRVx_OUT[MOE]置 0 时，xH_P/xL_P 来源于空闲电平信号 DRVx_OUT[OISxH/OISxL]。

配置 DRVx_DR、DRVx_ARR 和 DRVx_CMR 可实现预充电和刹车等功能，DRVx_DR 和 DRVx_ARR 控制 PWM 占空比和载波频率；DRVx_CMR 选择输出信号为电平信号或者 PWM。

图 17-6 预充电波形图

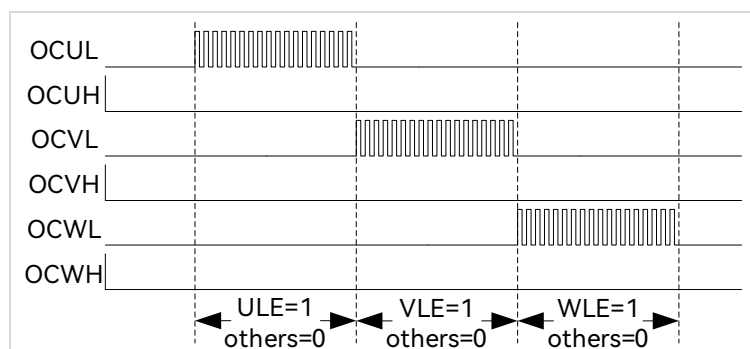
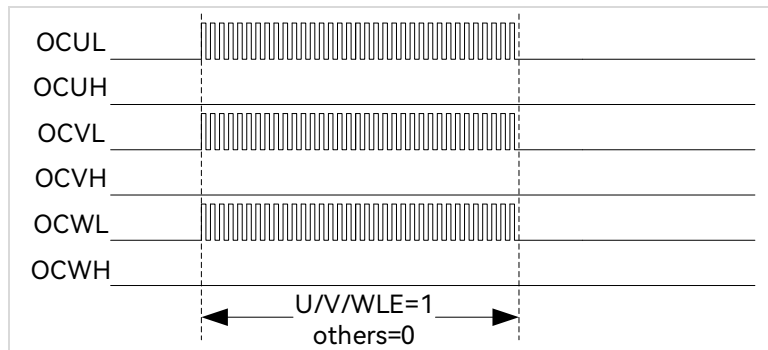


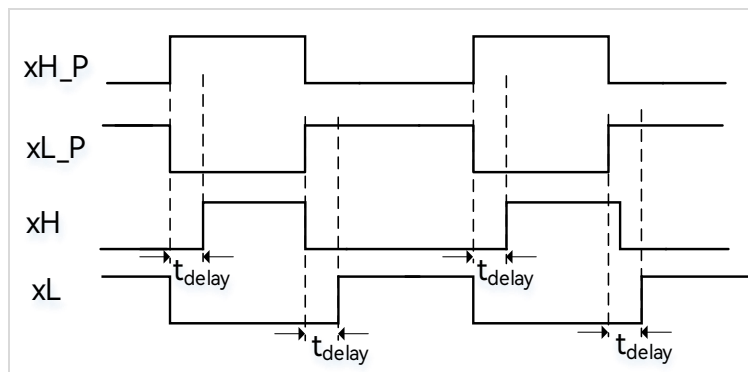
图 17-7 刹车波形图



17.2.4 死区模块

上下管信号 xH_P、xL_P 支持死区插入。对于互补输出，如果 DRVx_DTR 寄存器不等于 0，就使能了死区插入。每个通道都有一个 8 位的死区发生器，三个通道的死区延时相同，通过 DRVx_DTR 设置死区时间。当 xH_P、xL_P 上升沿发生时，xH、xL 的实际输出高电平比 xH_P、xL_P 的上升沿延迟 DRVx_DTR 设定的时间，死区时间 = $DRVx_DTR * T_{CLK}$ 。如果延迟时间大于实际输出的脉宽，那么对应的通道脉宽不延迟，相反的通道脉宽不产生。

图 17-8 死区示意图



17.3 FOC 电流环

17.3.1 参考输入

FOC 电流环使用 d 轴电流参考值 NFOCx_IDREF 和 q 轴电流参考值 NFOCx_IQREF 作为电流参考值，使用 d 轴电流采样值 NFOCx_ID 和 q 轴电流采样值 NFOCx_IQ 作为电流反馈值，实现电流闭环控制。

17.3.2 PI 控制

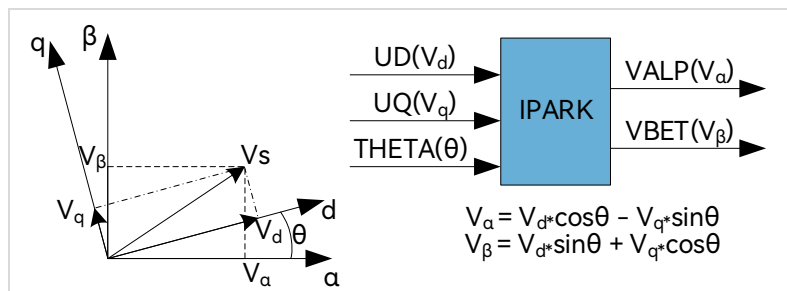
FOC 电流环使用 2 个 PI 控制器，分别应用于：

- 转子磁通控制: d轴电流PI控制器。以d轴电流参考值NFOCx_IDREF与反馈电流NFOCx_ID的差作为输入，比例系数NFOCx_DKP和积分系数NFOCx_DKI调节PI控制器性能，d轴输出最大值NFOCx_DMAX和d轴输出最小值NFOCx_DMIN对输出进行限幅，再输出d轴电压值NFOCx_DUK，最后经NFOCx_UDCPS补偿后得到NFOCx_UDFIN。
- 转子转矩控制: q轴电流PI控制器。以q轴电流参考值NFOCx_IQREF与反馈电流NFOCx_IQ的差作为输入，比例系数NFOCx_QKP和积分系数NFOCx_QKI调节PI控制器性能，q轴输出最大值NFOCx_QMAX和q轴输出最小值NFOCx_QMIN对输出进行限幅，再输出q轴电压值NFOCx_QUK，最后经NFOCx_UQCPS补偿后得到NFOCx_UQFIN。

17.3.3 坐标转换

17.3.3.1 Park 逆变换

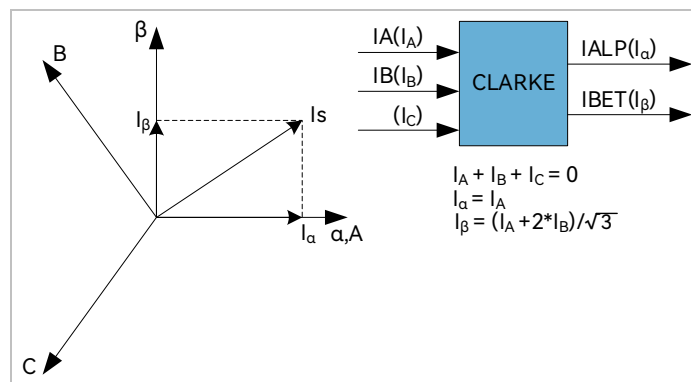
图 17-9 Park 逆变换



Park 逆变换将电压 NFOCx_UDFIN 和 NFOCx_UQFIN 从两相旋转 d-q 坐标系变换到两相静止 α - β 坐标系，得到电压 NFOCx_UALORG 和 NFOCx_UBEORG。再经 NFOCx_UALCPS 和 NFOCx_UBECPS 补偿后，得到 NFOCx_UALPHA 和 NFOCx_UBETA。

17.3.3.2 Clarke 变换

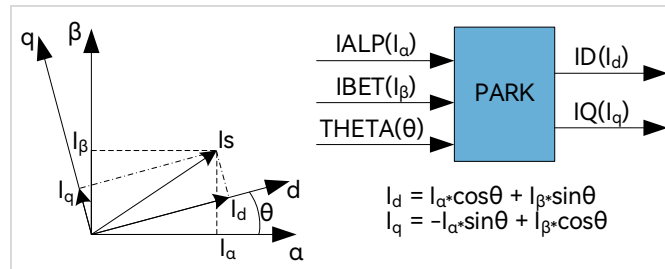
图 17-10 Clarke 变换



Clarke 变换将采样到的 A 相电流 NFOCx_IA 和 B 相电流 NFOCx_IB 从三相静止 A-B-C 坐标系变换到两相静止 α-β 坐标系，得到 NFOCx_IALPHA 和 NFOCx_IBETA。

17.3.3.3 Park 变换

图 17-11 Park 变换



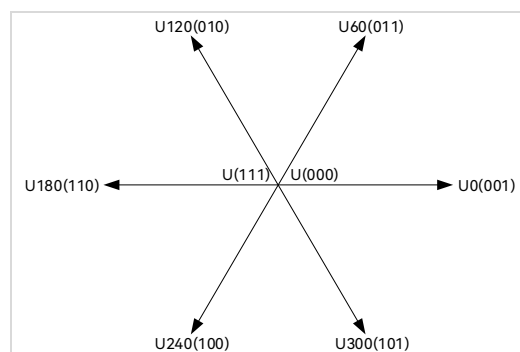
Park 变换将采样电流 NFOCx_IALPHA 和 NFOCx_IBETA 从两相静止 α-β 坐标系变换到两相旋转 d-q 坐标系，获得 d-q 轴反馈电流 NFOCx_ID 和 NFOCx_IQ。

17.3.4 SVPWM

SVPWM 算法是 FOC 的重要组成部分，其主要思路是采用逆变器空间电压矢量的切换以获得准圆形旋转磁场。该技术能明显减少逆变器输出电流的谐波分量、电机的谐波损耗和转矩脉动，且电压利用率高。

SVPWM 产生三相电机电压的脉宽调制信号占空比，每相占空比的产生过程都可简化为几个一次方程。由于逆变器上下桥臂不可直通，因此每相相电压有 2 种状态，即上桥打开时电机相线连接至母线电压(由 1 表示)与下桥打开时电机相线连接至地线(由 0 表示)。因此，逆变器电压输出共有 $2^3 = 8$ 种状态。任意一种状态可由 $X_C X_B X_A$ 表示， X_C 代表 C 相状态， X_B 代表 B 相状态， X_A 代表 A 相状态，如 100 代表 C 相相电压连接至母线电压，A、B 两相相电压连接至地。当三相全为 1 或全为 0 时的状态被称为无效状态，此时任意两相间没有电压降，也被称为零矢量。其余六种状态存在电压输出，为相邻状态旋转间隔为 60 度的有效矢量。

图 17-12 SVPWM 电压矢量



SVPWM 的原理为通过两个相邻矢量的和，可表示任意矢量六边形内的空间电压矢量。如图 17-13 SVPWM 电压合成所示， U_{OUT} 是期望生成的空间电压矢量，该矢量位于 U_{60} 和 U_{00} 之间。根据冲量相等原则，在很短的 PWM 周期 T_s 期间， U_{00} 的输出时间 $2*T_1$ 和 U_{60} 的输出时间 $2*T_2$ 共同作用的电压矢量等效为它们的矢量和 U_{OUT} 。剩余时间由零矢量填充，为 T_0 。

图 17-13 SVPWM 电压合成

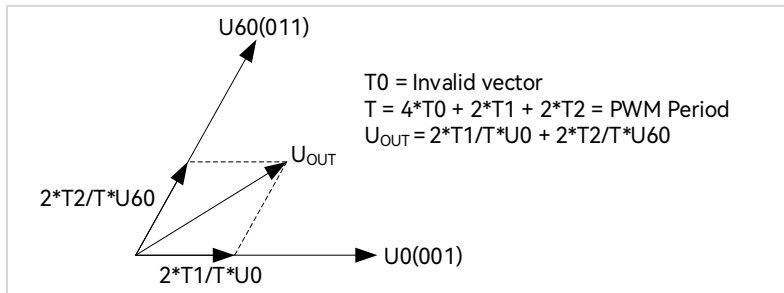


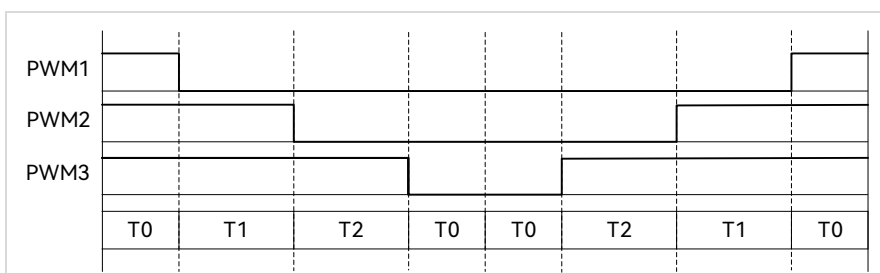
表 17-2 空间矢量调制逆变器状态

C 相	B 相	A 相	U_{ALP}	U_{BET}	矢量
0	0	0	0	0	000
0	0	1	$2/3*UDC$	0	001
0	1	1	$1/3*UDC$	$1/3*UDC$	011
0	1	0	$-1/3*UDC$	$1/3*UDC$	010
1	1	0	$-2/3*UDC$	0	110
1	0	0	$-1/3*UDC$	$-1/3*UDC$	100
1	0	1	$1/3*UDC$	$-1/3*UDC$	101
1	1	1	0	0	111

17.3.4.1 七段式 SVPWM

在单电阻电流采样模式下，FOC 模块固定使用七段式 SVPWM。双/三电阻电流采样模式下，配置 $DRVx_FCR2[NSEG5] = 0$ 选择七段式 SVPWM。

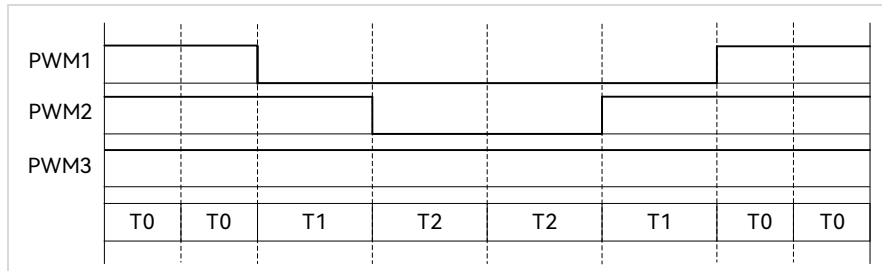
图 17-14 七段式 SVPWM 输出电平



17.3.4.2 五段式 SVPWM

五段式 SVPWM 只能在双/三电阻电流采样模式下使用。配置 $DRVx_FCR2[NSEG5] = 1$ 使能五段式 SVPWM。

图 17-15 五段式 SVPWM 输出电平



17.3.5 过调制

单/双/三电阻模式下均可使用过调制功能，配置 $DRVx_FCR3[NOVMDL] = 1$ 使能过调制功能。过调制使能后， $NFOCx_UD$ 、 $NFOCx_UQ$ 和相关限幅值均放大 1.15 倍，电压输出放大 1.15 倍。

17.3.6 死区补偿

死区补偿只可用于双/三电阻电流采样模式，配置 $NFOCx_TDTC$ 寄存器设置死区补偿值，该功能可有效改善低速时的电流波形正弦度。

17.3.7 电流电压采样

FOC 模块通过硬件自动采集电机的母线电压和三相电流。当 FOC 模块工作之前，使能 ADC 和运放，并配置相关采样控制寄存器，ADC 通道和扫描方式不需要配置。根据 $DRVx_FCR0[NCSAMMD]$ 选择单/双/三电阻电流采样模式。

主电机在单电阻电流采样模式下默认 ADC1 通道 4 为母线电流 $itrip$ 的采样通道。在双电阻电流采样模式下默认 ADC1 通道 0 为 ia 的采样通道，ADC1 通道 1 为 ib 的采样通道。在三电阻电流采样模式下默认 ADC1 通道 0 为 ia 的采样通道，ADC1 通道 1 为 ib 的采样通道，ADC1 通道 4 为 ic 的采样通道。程序可以选择 ADC1 通道 2 为母线电压的采样通道。

从电机在单电阻电流采样模式下默认 ADC2 通道 4 为母线电流 $itrip$ 的采样通道。在双电阻电流采样模式下默认 ADC2 通道 0 为 ia 的采样通道，ADC2 通道 1 为 ib 的采样通道。在三电阻电流采样模式下默认 ADC2 通道 0 为 ia 的采样通道，ADC2 通道 1 为 ib 的采样通道，ADC2 通道 4 为 ic 的采样通道。



备注:

当从电机不工作，且主电机为双电阻采样时，可以配置为 ADC1 和 ADC2 同时采样，使用 ADC1 的通道 0 采样 ia，ADC2 的通道 13 采样 ib，缩短采样时间。

17.3.7.1 单电阻采样模式

配置 `DRVx_FCR0[NCSAMMD] = 00000`，选择单电阻电流采样模式。在单电阻电流采样模式下，ME 模块在 Driver 计数器向上计数的区间对母线电流 `itrip`(ADC1 通道 4)进行两次采样，在 Driver 计数器向下计数的区间且 FOC 运算完成后对母线电压进行采样。

在死区时间内采样会影响电流采样的准确性，ME 模块需在去除死区时间的有效矢量施加时间 `T1'`、`T2'` 中采样。通过配置 `NFOCx_TDLY` 对采样时间进行提前或者延迟，保证在 `T1'`、`T2'` 中完成采样。例: 48MHz 时钟频率下，若 `NFOCx_TDLY = 5`，则延迟 $5 * T = 104\text{ns}$ ；`NFOCx_TDLY = 0xFFFF(-5)`，则提前 104ns。

图 17-16 单电阻采样时序

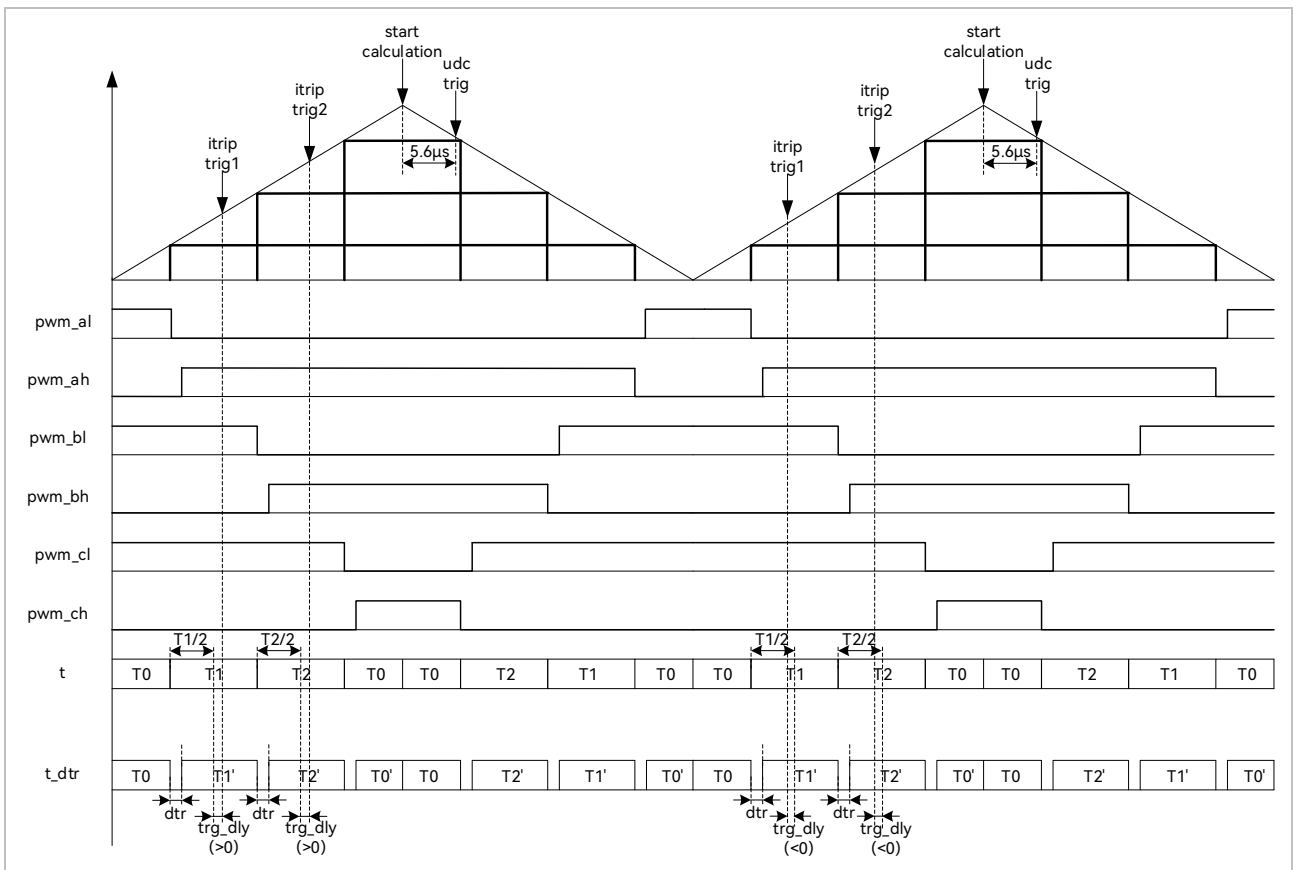
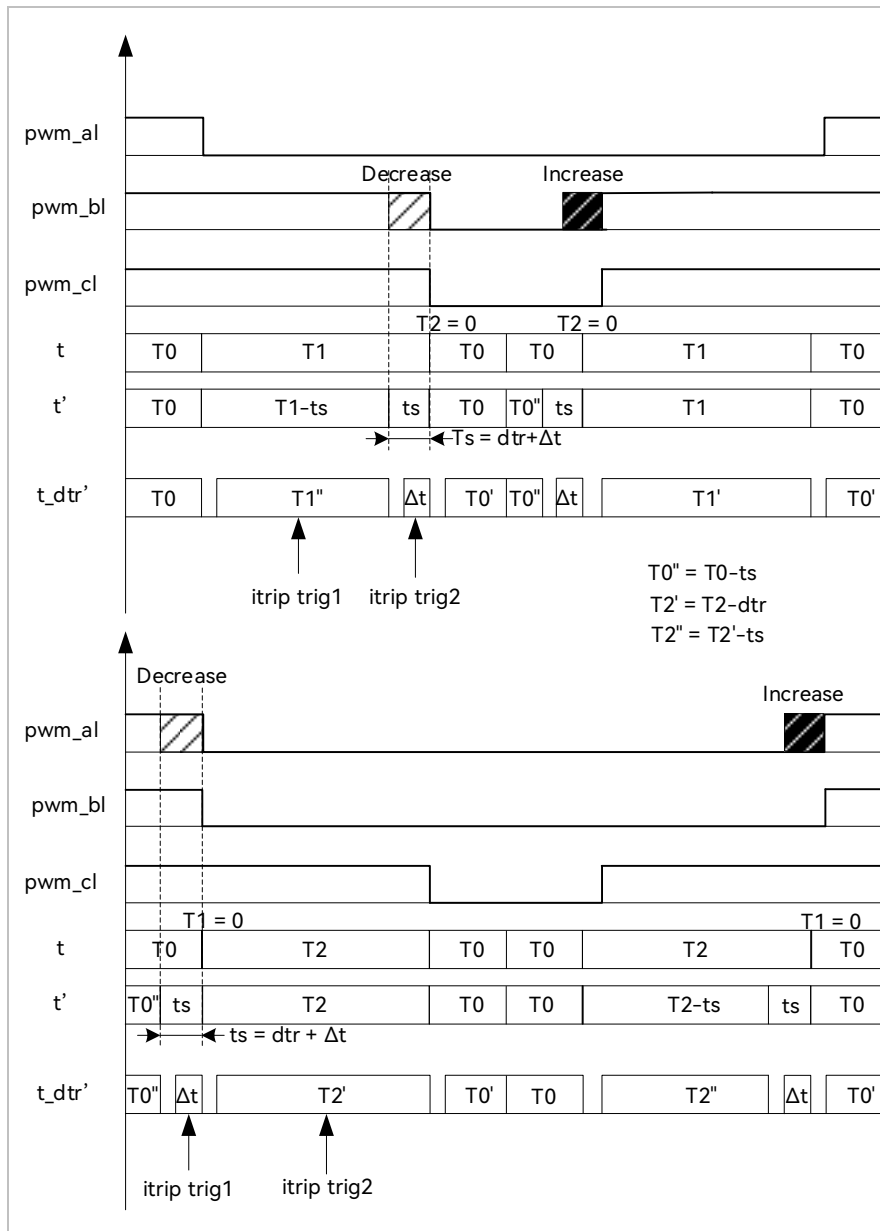


图 17-17 单电阻采样时间补偿



单电阻采样在低调制度以及扇区切换时存在采样窗口不够宽的情况，此时需调整输出波形以保证采样需要的最小采样窗口，用户通过设置 NFOCx_TS (NFOCx_TS = 最小采样窗口时间 + 死区时间)，ME 模块会对 PWM 波形自动进行移相处理。

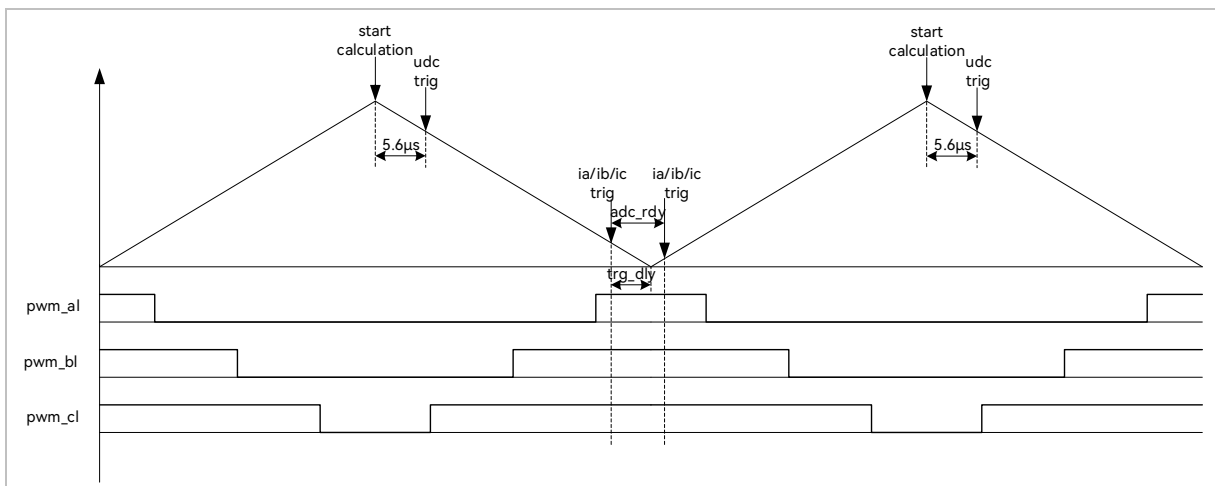
17.3.7.2 双/三电阻采样模式

配置 `DRVx_FCR0[NCSAMMD] = 00001/00010`，选择双/三电阻电流采样模式。在三电阻电流采样模式下，通过 NFOCx_TDLY 寄存器设置对三相电流的其中一相相电流(根据扇区决定 ia/ib/ic)的采样时机，当采样完毕后迅速对另外一相进行采样。在双电阻模式下，通过 NFOCx_TDLY 寄存器设置调整 ia 的采样时机，

当采样完毕后迅速对 i_b 进行采样。需要注意的是电流采样时机的设置应该使三相电流采样点均在矢量 000 区间。例: $NFOCx_TDLY = 0x32$, 则当 FOC 计数器向下计数, 在下溢事件后 $50 \cdot T = 1.04\mu s$ 对 $i_a/i_b/i_c$ 采样, 采样完毕后对另外一相 $i_a/i_b/i_c$ 采样。

双/三电阻电流采样模式在 Driver 计数器向下计数且 FOC 模块运算完成后对母线电压采样。

图 17-18 双/三电阻电流采样模式



17.3.7.3 电流采样偏置

因为相电流存在正负值, 因此需要加入偏置电压使系统可采样全部范围的电流。电流为 0 时, ADC 的采样值即为电流采样偏置, 在运算时将 ADC 采样值减去偏置获得电流采样值。FOC 模块电流采样偏置默认值为 $0x4000$ 。由于 ADC 基准电压和硬件板的偏差会导致默认值与实际值不符, 因此需要对偏置值进行校准。校准方法如下: 在三相没有相电流时, 配置 $DRVx_FCR2[OFFSET_EN] = 1$ 进入电流偏置校准, 对相应通道进行多次采样后再取平均值, 得到电流偏置校准结果 $NFOCx_IAREF$ 、 $NFOCx_IBREF$ 、 $NFOCx_ICREF$ 和 $NFOCx_ITREF$ 。假设采样 A 相电流 ADC 的电压范围 $0V \sim 5V$, 偏置为 $2.5V$, 则 $NFOCx_IAREF = 2.5V/5V \cdot 32768 = 16384(0x4000)$ 。校准完成后, $DRVx_FCR2[OFFSET_EN]$ 硬件自动清 0。

17.3.7.4 电流采样模式切换

FOC 计算完 $i_a/i_b/i_c$ 后自动更新 $NFOCx_CSAM$ 值到 $DRVx_FCR0[NCSAMMD]$ 。当 FOC 计算使能位 $DRVx_FCR0[NCALEN] = 0$ 时, $NFOCx_CSAM = DRVx_FCR0[NCSAMMD]$; 当 $DRVx_FCR0[NCALEN] = 1$ 时, 会在上下溢时将 $NFOCx_CSAM$ 更新到 $DRVx_FCR0[NCSAMMD]$ 。主要用于电流采样模式切换, 电流采样模式相关的寄存器有 $NFOCx_CMRSH$ 和 $DRVx_ARRSH$ 。

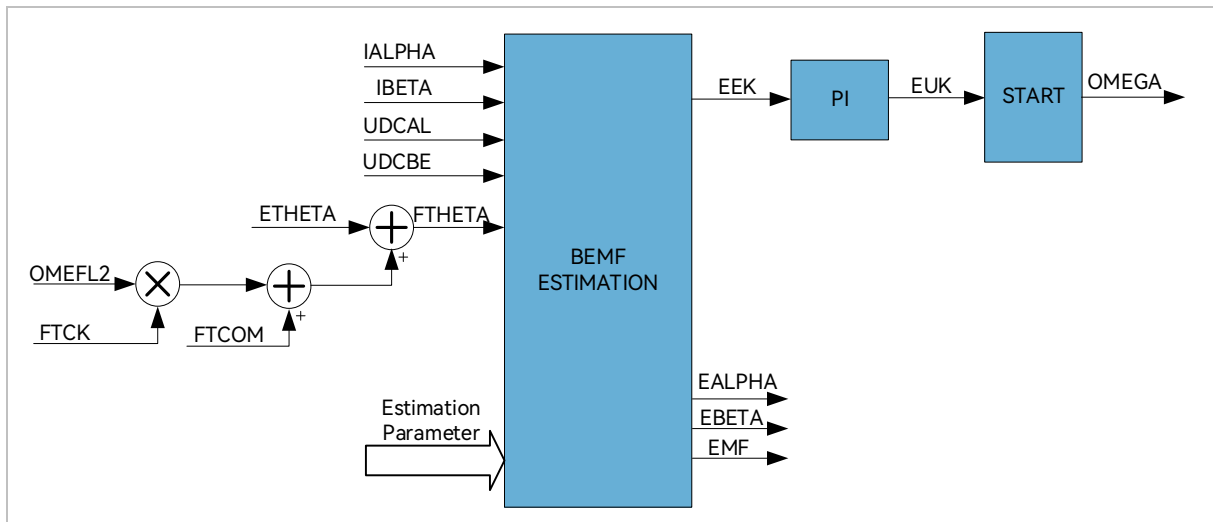
17.4 角度输出

角度输出模块用于电机的无感控制，通过无感算法对电机转子位置进行估算。电机转速可通过观测器得到，也可通过基于高频信号注入的方式得到。再通过角度计算将转速积分得到电机角度。

17.4.1 观测器速度

电机转速可由反电动势估算、PI 控制器和启动得到。BEMF 模块通过估算算法，得到反电动势的估算值 NFOCx_EALPHA、NFOCx_EBETA、NFOCx_EMF 与角度误差 NFOCx_EEK。NFOCx_EEK 经 PI 控制器后得到 NFOCx_EUK。再经启动模块后得到最终速度 NFOCx_OMEGA。

图 17-19 速度观测器原理框图



17.4.1.1 反电动势估算

反电动势估算模块根据用户选择的观测器类型和输入的估算参数构建电机模型，根据采集的电机电流和电压进行估算，重构出与实际情况相符合的反电动势，反电动势中包含了电机转子位置的信息。对电机反电动势进行估算时，可采用滑模观测器(SMO)、磁链观测器(NFO、CFO、AFO)和自适应观测器(AO)，得到估算反电动势 NFOCx_EALPHA 和 NFOCx_EBETA。

ME 默认使用滑模观测器(SMO)，计算中涉及的 FOC 寄存器有：NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_KSLIDE、NFOCx_MAXERR 和 NFOCx_MERRRE。

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 001 使能自适应观测器(AO)。计算中涉及的 FOC 寄存器有：NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_EMAX、NFOCx_EMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 010 使能一般磁链观测器(CFO)、计算中涉及的 FOC 寄存器有：

NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_KSLIDE、NFOCx_FEK6、NFOCx_FEK7、NFOCx_FEK8、NFOCx_EMAX、NFOCx_EMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 011 使能非线性磁链观测器(NFO)。计算中涉及的 FOC 寄存器有：NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_KSLIDE、NFOCx_FEK6、NFOCx_EMAX、NFOCx_EMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 100 使能全阶磁链观测器(AFO)，计算中涉及的 FOC 寄存器有：NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_FEK5、NFOCx_AFKDF、NFOCx_AFKAF、NFOCx_AFKP、NFOCx_AFKI、NFOCx_AFMAX、NFOCx_AFMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

配置 DRVx_FCR3[DEL_MD] = 00，采用基于反正切的方法计算角度差 NFOCx_EEK；配置 DRVx_FCR3[DEL_MD] = 01，采用基于 \sin / \cos 的方法计算角度差 NFOCx_EEK；配置 DRVx_FCR3[DEL_MD] = 10，采用基于 \sin / \cos 后 $\Delta\theta/EMF$ 的方法计算角度差 NFOCx_EEK。此后 NFOCx_EEK 经过 PI 控制器调节得到估算速度 NFOCx_EUK。

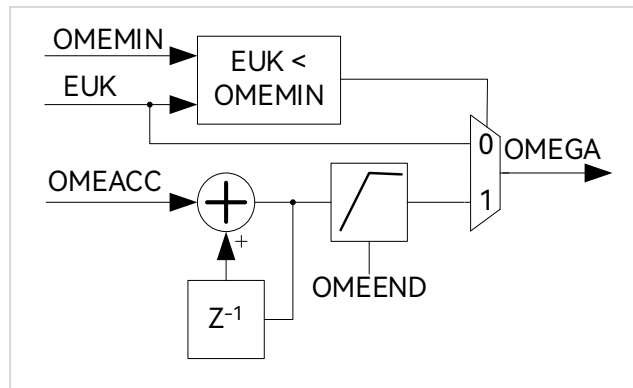
17.4.1.2 启动

电机启动时电机的输出电流小，观测器模型估算的速度与实际值存在较大的误差，可能导致电机启动失败。在这种情况下，可采用低速观测器启动或 Omega 启动以保证电机顺利启动运行。

配置 DRVx_FCR0[LO_EN] = 1 使能低速观测器启动。配置 DRVx_FCR2[OMELD_EN] = 1，将低速观测器计算的速度 NFOCx_LOME 作为最终速度 NFOCx_OMEGA。

配置 DRVx_FCR1[OME_STA_EN] = 1 使能 Omega 启动。如图 17-20 所示通过判断观测器的瞬时估算速度 NFOCx_EUK 与 NFOCx_OMEMIN 的大小，选择不同速度作为最终速度 NFOCx_OMEGA 供角度计算模块计算角度。当 NFOCx_EUK < NFOCx_OMEMIN 时，NFOCx_OMEGA 使用观测器强制速度，强制速度从 0 开始，每个载波周期与速度增量 NFOCx_OMEACC 相加，实现加速，同时以 NFOCx_OMEEND 限制速度的最大值。当 NFOCx_EUK \geq NFOCx_OMEMIN 时，NFOCx_OMEGA 等于 NFOCx_EUK。

图 17-20 Omega 启动原理框图



速度 NFOCx_OMEGA 经过一级低通滤波和二级低通滤波得到速度 NFOCx_OMEFLT 和 NFOCx_OMEFL2。

17.4.2 高频注入

高频注入的基本思想为将一个高频电压信号叠加到基波上，共同施加给电机三相绕组，相应的高频电流中将携带转子位置信息，通过高频注入算法将高频电流提取出来进行处理，即可估算出转子位置信息。配置 DRVx_FCR2[HF1_CAL_EN] = 1 使能高频注入。经高频注入算法得到速度 NFOCx_HUK。配置 DRVx_FCR2[OMELD_EN] = 1 将 NFOCx_HUK 更新至 NFOCx_OMEGA。

17.4.3 磁链观测器

17.4.3.1 一般磁链观测器 CFO

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 010，选择观测器模式为 CFO；配置 DRVx_FCR6[ESTU_SEL]选择 CFO 读取 NFOCx_UDCALP 以及 NFOCx_UDCBETA 的 Q 格式；配置 DRVx_FCR6[ESTID_SEL]选择 CFO 计算中 ID 来源；配置 DRVx_FCR3[DEL_MD]选择 PLL 角度计算模式。CFO 相关的参数寄存器有 NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_KSLIDE、NFOCx_FEK6、NFOCx_FEK7、NFOCx_FEK8、NFOCx_EMAX、NFOCx_EMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

17.4.3.2 非线性磁链观测器 NFO

配置 DRVx_FCR6[EST_MD] = 011，选择观测器模式为 NFO；配置 DRVx_FCR6[ESTU_SEL]选择 NFO 读取 NFOCx_UDCALP 以及 NFOCx_UDCBETA 的 Q 格式；配置 DRVx_FCR6[ESTID_SEL]选择 NFO 计算中 ID 来源；配置 DRVx_FCR3[DEL_MD]选择 PLL 角度计算模式。NFO 相关的参数寄存器有 NFOCx_EK1、NFOCx_EK2、NFOCx_EK3、NFOCx_EK4、NFOCx_KSLIDE、NFOCx_FEK6、NFOCx_EMAX、NFOCx_EMIN、NFOCx_EKP、NFOCx_EKI。

17.4.3.3 全阶磁链观测器 AFO

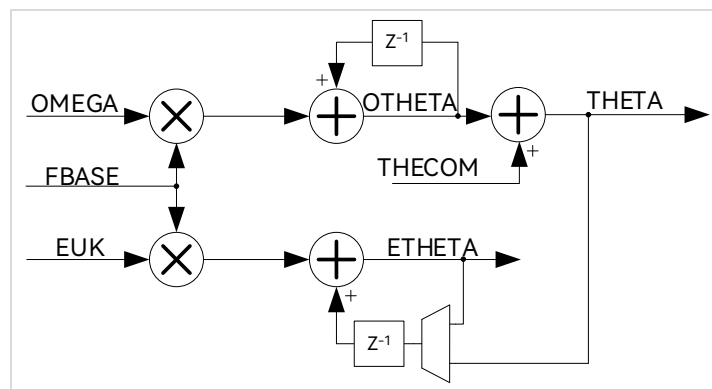
配置 $DRVx_FCR6[EST_MD] = 100$ ，选择观测器模式为 AFO；配置 $DRVx_FCR6[ESTU_SEL]$ 选择 AFO 读取 $NFOCx_UDCALP$ 以及 $NFOCx_UDCBETA$ 的 Q 格式；配置 $DRVx_FCR6[ESTID_SEL]$ 选择 AFO 计算中 ID 来源；配置 $DRVx_FCR3[DEL_MD]$ 选择 PLL 角度计算模式。AFO 相关的参数寄存器有 $NFOCx_EK1$ 、 $NFOCx_EK2$ 、 $NFOCx_EK3$ 、 $NFOCx_EK4$ 、 $NFOCx_FEK5$ 、 $NFOCx_AFKDF$ 、 $NFOCx_AFKAF$ 、 $NFOCx_AFKP$ 、 $NFOCx_AFKI$ 、 $NFOCx_AFMAX$ 、 $NFOCx_AFMIN$ 、 $NFOCx_EKP$ 、 $NFOCx_EKI$ 。

17.4.4 角度计算

角度计算模块用于计算最终角度 $NFOCx_THETA$ 和估算角度 $NFOCx_ETHETA$ 。最终角度 $NFOCx_THETA$ 将参与 FOC 电流环的坐标转换运算，估算角度 $NFOCx_ETHETA$ 经反馈补偿后得到 $NFOCx_FTHETA$ ，送入反电动势估算模块参与速度估算。

根据最终速度 $NFOCx_OMEGA$ 和速度基准 $NFOCx_FBASE$ ，求解补偿前的角度 $NFOCx_OTHETA$ ，经补偿值 $NFOCx_THECOM$ 进行补偿后输出最终角度 $NFOCx_THETA$ 。当高频注入使能时，或低速观测器启动使能时，或采用 Omega 启动且配置 $DRVx_FCR2[OMESTA_MD] = 1$ 时，估算角度 $NFOCx_ETHETA$ 的积分来源为 $NFOCx_ETHETA$ ；当采用 Omega 启动且配置 $DRVx_FCR2[OMESTA_MD] = 0$ 时，估算角度 $NFOCx_ETHETA$ 的积分来源为 $NFOCx_THETA$ 。

图 17-21 角度计算原理框图



17.5 FOC 外环

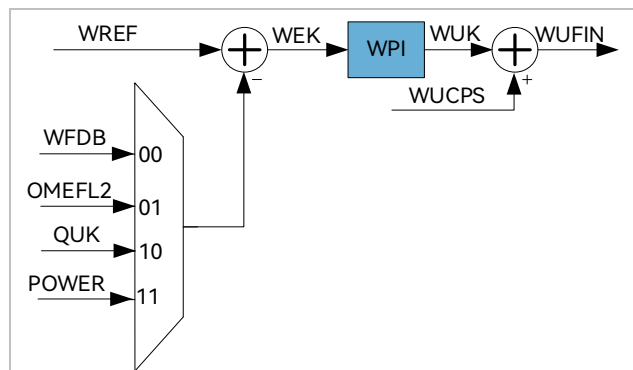
配置 $DRVx_PTR[WPI_TRG] = 1$ 使能一次外环计算；配置 $DRVx_FCR1[WPIAUTO] = 01$ 每个载波周期自动使能一次外环计算；配置 $DRVx_FCR1[WPIAUTO] = 10$ 每个 SysTick 周期自动使能一次外环计算。

配置 $DRVx_FCR1[WPIMD]$ 可选择不同的值实现以下控制：

- > 配置DRVx_FCR1[WPIMD] = 00选择手动填入反馈值NFOCx_WFDB，从而实现基于软件手动填入的闭环控制
- > 配置DRVx_FCR1[WPIMD] = 01选择外环反馈值为电机转速NFOCx_OMEFL2，从而实现速度-电流闭环控制
- > 配置DRVx_FCR1[WPIMD] = 10选择外环反馈值为电机q轴电压NFOCx_QUK，从而实现电压-电流闭环控制
- > 配置DRVx_FCR1[WPIMD] = 11选择外环反馈值为电机功率NFOCx_POWER，从而实现功率-电流闭环控制

FOC 外环使用 NFOCx_WREF 作为外环参考输入。外环参考值 NFOCx_WREF 与反馈值作差得到 NFOCx_WEK。经外环 PI 控制器调节后输出 NFOCx_WUK，经 NFOCx_WUCPS 补偿后得到 NFOCx_WUFIN。配置 DRVx_FCR1[WPILDEN] = 1，将 NFOCx_WUFIN 自动更新至 NFOCx_IQREF。

图 17-22 FOC 外环原理框图

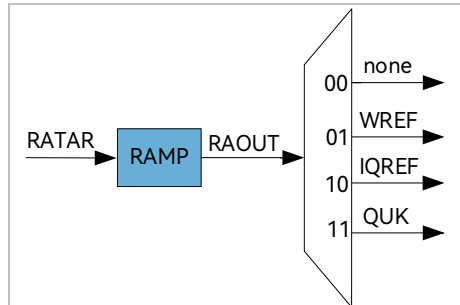


17.6 爬坡计算

配置 DRVx_PTR[RAMP_TRG] = 1 使能一次爬坡计算；配置 DRVx_FCR1[RAMP_AUTO] = 1 每个 SysTick 周期自动使能一次爬坡计算。若爬坡输出值 NFOCx_RAOUT 未达到爬坡目标值 NFOCx_RATAR，则爬坡输出值 NFOCx_RAOUT 与步进值 NFOCx_RAINC/NFOCx_RADEC 相加（减），否则输出爬坡目标值 NFOCx_RATAR。

配置 DRVx_FCR1[RAMPMD] = 00 选择不更新；配置 DRVx_FCR1[RAMPMD] = 01 选择将爬坡值更新至 NFOCx_WREF；配置 DRVx_FCR1[RAMPMD] = 10 选择将爬坡值更新至 NFOCx_IQREF；配置 DRVx_FCR1[RAMPMD] = 11 选择将爬坡值更新至 NFOCx_QUK 的高 16 位。

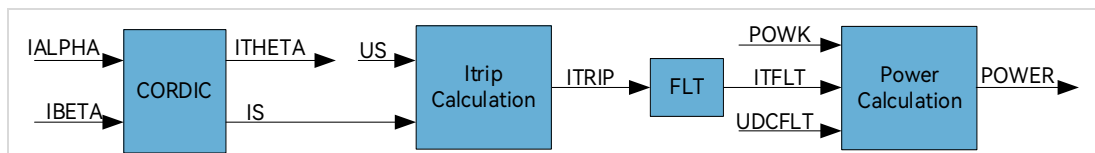
图 17-23 爬坡计算原理框图



17.7 功率计算

ME 根据采样电流、输出电压的调制度以及滤波后的母线电压，经过计算得到电机功率。配置 $DRVx_FCR0[ITPOWMD] = 00$ 不进行功率计算；配置 $DRVx_FCR0[ITPOWMD] = 10$ ， $NFOCx_ITRIP = NFOCx_US * NFOCx_IS$ ；配置 $DRVx_FCR0[ITPOWMD] = 11$ ， $NFOCx_ITRIP = NFOCx_IS$ 。经低通滤波器后得到 $NFOCx_ITFLT$ ，再计算功率 $NFOCx_POWER = (NFOCx_ITFLT * NFOCx_POWK1) * (NFOCx_UDC * NFOCx_POWK2)$ 。

图 17-24 功率计算原理框图



17.8 弱磁

配置 $DRVx_FCR2[FWEAK_EN] = 1$ 使能弱磁，配置 $DRVx_FCR2[FWEAK_MD]$ 选择弱磁计算模式 (MOD0 / MOD1)。根据 $NFOCx_UALPHA$ 和 $NFOCx_UBETA$ 得到 $NFOCx_US$ ，对 $NFOCx_US$ 进行滤波得到 $NFOCx_USFLT$ 。以 $(NFOCx_FWREF - NFOCx_USFLT) * NFOCx_UDCFLT$ 作为 PI 控制器输入，经 PI 控制器调节后输出 $NFOCx_FWUK$ 。配置 $DRVx_FCR2[FWEAK_MD] = 0$ 进入弱磁计算 MOD0，将 $NFOCx_WUFIN * \cos(NFOCx_FWUK)$ 更新至 $NFOCx_IQREF$ ， $NFOCx_WUFIN * \sin(NFOCx_FWUK)$ 的结果做限幅后更新至 $NFOCx_IDREF$ ；配置 $DRVx_FCR2[FWEAK_MD] = 1$ 进入弱磁计算 MOD1，将 $NFOCx_WUFIN$ 更新至 $NFOCx_IQREF$ ，对 $NFOCx_FWUK$ 做限幅后更新至 $NFOCx_FWIDR$ ，将 $NFOCx_FWIDR + NFOCx_IDREF$ 作为 d 轴参考电流。



备注:

一般情况下，弱磁计算 MOD0 和 MOD1 模式下对应的限幅值 $NFOCx_IDRLIM$ 大小不同。

17.9 端电压

根据硬件和电机参数配置 NFOCx_USK 和 NFOCx_USOMEK，配置 DRVx_FCR5[UABC_SEL]选择 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET 的来源。配置 DRVx_FCR5[UABC_SEL] = 00 时，NFOCx_UA / UB / UC 不采样，使用 NFOCx_UALPHA / NFOCx_BETA 和 NFOCx_UDC 计算的值更新到 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET；配置 DRVx_FCR5[UABC_SEL] = 01 时，NFOCx_UA / UB / UC 采样，使用 NFOCx_UALPHA / NFOCx_BETA 和 NFOCx_UDC 计算的值更新到 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET；配置 DRVx_FCR5[UABC_SEL] = 10 时，NFOCx_UA / UB / UC 采样，使用 NFOCx_UA / UB / UC 计算的值更新到 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET；配置 DRVx_FCR5[UABC_SEL] = 11 时，NFOCx_UA / UB / UC 采样，使用 NFOCx_UA / UB / UC 计算的值，进行幅值和相位补偿后，更新到 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET。使能 DRVx_FCR5[UABC_SEL]时，NFOCx_UA / UB / UC 固定在上溢点开始采样。



备注:

- 主电机的UA、UB和UC与对应的ADC采样通道选择不被CMP_CR2[CMP0MOD]配置值影响，仅受CMP_CR2[CMP0FS]控制。配置CMP_CR2[CMP0FS] = 0时，主电机的UA、UB和UC的采样通道分别为ADC1通道6、ADC1通道8、ADC1通道9；配置CMP_CR2[CMP0FS] = 1时，主电机的UA、UB和UC的采样通道分别为ADC1通道6、ADC1通道5、ADC1通道7。
- 从电机的UA、UB和UC与对应的ADC采样通道选择不被CMP_CR6[CMP6MOD]配置值影响，仅受CMP_CR6[CMP6FS]控制。配置CMP_CR6[CMP6FS] = 0时，从电机的UA、UB和UC的采样通道分别为ADC2通道6、ADC2通道8、ADC2通道9；配置CMP_CR6[CMP6FS] = 1时，UA、UB和UC的采样通道分别为ADC2通道6、ADC2通道5、ADC2通道7。

17.10 UQ 注入

配置 DRVx_FCR2[UQINJ_EN] = 1 使能 UQ 注入补偿，NFOCx_UQCPS 自动更新。计算中涉及的 FOC 寄存器有：NFOCx_UIK0、NFOCx_UIK1、NFOCx_UIK2、NFOCx_UIK3、NFOCx_UIUS0、NFOCx_UIUS1、NFOCx_UIUS2、NFOCx_UIUS3、NFOCx_UITC0、NFOCx_UITC1、NFOCx_UITC2 和 NFOCx_UITC3。

17.11 软件调用 CORDIC

软件调用 CORDIC 可在 FOC 计算空闲时执行。软件调用 CORDIC 时，共有 8 个 CORDIC 计算通道 CORDIC0 ~ CORDIC7 可供调用，每个 CORDIC 通道与 ME_COR[COR0] ~ ME_COR[COR7]一一对应，是否选择对应的通道取决于 ME_COR 的配置。每个 CORDIC 通道均可调用硬件 CORDIC 模块，完成 CORDIC 运算。

其中 CORDIC0、CORDIC1、CORDIC4 和 CORDIC5 通道用于计算 sine 和 cosine，CORDIC2、CORDIC3、CORDIC6 和 CORDIC7 通道用于计算 atan 和平方根，执行优先级为 CORDIC0 最高，CORDIC7 最低。计算 sine 和 cosine 时的计算公式为：

$$\begin{aligned}XO &= XI \cdot \cos(THETA) - YI \cdot \sin(THETA) \\YO &= XI \cdot \sin(THETA) + YI \cdot \cos(THETA)\end{aligned}$$

计算 atan 和平方根时的计算公式为：

$$\begin{aligned}US &= \sqrt{XI^2 + YI^2} \\UTHETA &= \arctan \frac{YI}{XI}\end{aligned}$$

17.12 角度融合

角度融合用于实现从高频注入角度 NFOCx_HTHETA 到常规估算角度 NFOCx_ATHETA 的平滑切换。由于角度融合基于 NFOCx_HTHETA 环路，因此需同时使能 DRVx_FCR2[OMELD_EN] = 1。

通过 DRVx_FCR5[ANGFU_MAEN]可配置手动融合和硬件融合两种不同的模式：

- 配置 DRVx_FCR5[ANGFU_MAEN] = 1 选择手动融合模式。通过 DRVx_FCR5[ANGFU_MD] 选择角度来源：00 来源为高频注入角度 (HFI)；01 来源为融合角度；1x 来源为 SMO/AO/FO 估算角度。
- 配置 DRV1_FCR5[ANGFU_MAEN] = 0 选择硬件融合模式。DRVx_FCR5[ANGFU_MD] 为动态寄存器，由硬件自动更新。比较 NFOCx_OMEFL2 与 阈值 (NFOCx_FUMAX / NFOCx_FUMIN)：NFOCx_OMEFL2 > NFOCx_FUMAX 时，DRVx_FCR5[ANGFU_MD] = 1x；NFOCx_OMEFL2 < NFOCx_FUMIN 时，DRVx_FCR5[ANGFU_MD] = 00；其他情况 DRVx_FCR5[ANGFU_MD] = 01。



备注：

选择手动融合角度时，权重由 NFOCx_FUWEI (Q15 格式) 设定：SMO/AO/FO 权重 = 100% - NFOCx_FUWEI；选择硬件融合角度时，权重由 NFOCx_FUWEI (Q6 格式) 设定。

17.13 电流环解耦

配置 DRVx_FCR6[CVD_EN] = 1 使能电流环解耦，解决电流动态耦合问题。配置 NFOCx_CVK1、NFOCx_CVK2、NFOCx_CVK3、NFOCx_CVDK4、NFOCx_CVQK4、NFOCx_CVDK5、NFOCx_CVQK5 可以实现复矢量解耦、负反馈解耦、内模解耦、内模 + 负反馈解耦四种电流环解耦模式。以上参数可通过配置 DRVx_FCR7[CVKO_SEL] 配置不同的数据格式，00：Q14 格式；01：Q13 格式；10：Q12 格式；11：Q11 格式。

使能电流环解耦功能后，电流环的 PI 参数需配置 NFOCx_DKP、NFOCx_QKP、NFOCx_DKI、NFOCx_QKI、NFOCx_CVKI2D、NFOCx_CVKI2Q 等寄存器。以上参数可以由 DRVx_FCR7[CVKP_SEL]、DRVx_FCR7[CVKI1_SEL]、DRVx_FCR7[CVKI2_SEL]配置不同的数据格式，00: Q14 格式；01: Q13 格式；10: Q12 格式；11: Q11 格式。

电流环 d 轴及 q 轴的输出限幅由 NFOCx_DMAX、NFOCx_DMIN、NFOCx_QMAX、NFOCx_QMIN 设置。另外，通过将 DRVx_FCR6[CVD_SEL]置 1,可以选择软件计算逆变器输出作为抗饱和反馈，计算结果需填入 NFOCx_CVQULO、NFOCx_CVDULO。



备注:

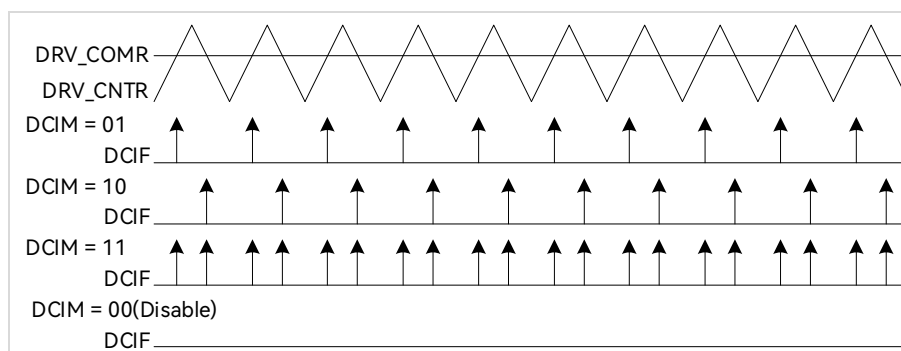
首次电流环解耦 PI 计算时，NFOCx_UDCLIM 作为分母，需初始化为 UDC 附近的数值。

17.14 ME 中断源

17.14.1 Driver 比较匹配中断

配置比较匹配寄存器 DRVx_COMR 用于设定比较匹配中断产生的时间。当 Driver 计数器的计数值等于 DRVx_COMR，且符合 DRVx_IER[DCIM]设置的条件时，产生 Driver 比较匹配中断请求，中断标志位 DRVx_IFR[DCIF]硬件置 1。通过 DRVx_IER[DCIM]设置比较匹配中断产生的条件：DRVx_IER[DCIM] = 00 时，不产生中断；DRVx_IER[DCIM] = 01 时，计数器向上计数时产生中断；DRVx_IER[DCIM] = 10 时，计数器向下计数时产生中断；DRVx_IER[DCIM] = 11 时，计数器向上/向下计数时都产生中断。

图 17-25 Driver 比较匹配中断



通过 DRVx_IER[DCIP]设置比较匹配中断的周期数：DRVx_IER[DCIP] = 0 时，每个载波周期均产生中断；DRVx_IER[DCIP] = 1 时，每 2 个载波周期产生一次中断。

17.14.2 FG 中断

配置 $DRV1_FCR1[FG_OE] = 1$ 使能 FG1 输出，配置 $PH_SEL[T4CT] = 01$ 从 PA0 输出。配置 $DRV2_FCR1[FG_OE] = 1$ 使能 FG2 输出，配置 $PH_SEL[T7CT] = 01$ 从 PA1 输出。

FG 的输出为 FG 计数器 FGTHETA 的最高位。当配置 $DRVx_FCR1[FG_CALEN] = 1$ ，或 FG 输出与 $DRVx_FCR1[FG_IDLE_LEV]$ 不一致时，FGTHETA 根据设定的 FG 速度基准 $NFOCx_FGABSE$ 和电机速度 $NFOCx_OMEFL2$ 进行计算：

$$FGTHETA = FGTHETA + NFOCx_FGABSE * NFOCx_OMEFL2$$

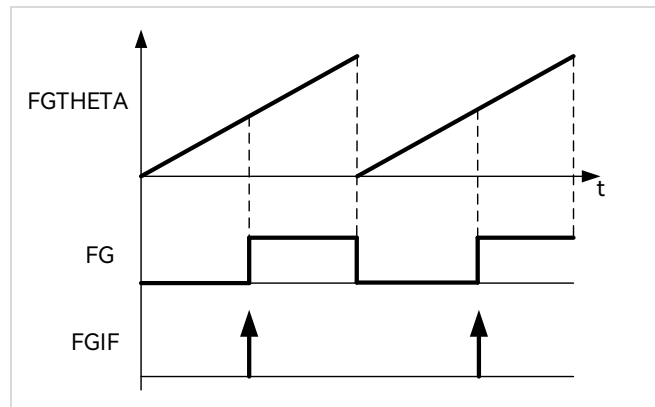
$NFOCx_FGABSE$ 的计算公式为：

$$NFOCx_FGABSE = NFOCx_FBASE * 32768 * 64 / 750000 * x$$

其中，最后一个变量 x 为一个电周期内期望输出的 FG 信号的个数。

配置 $DRVx_FCR1[FG_MD] = 0$ 使用 750kHz 时钟计数；配置 $DRVx_FCR1[FG_MD] = 1$ 使用 48MHz 时钟计数。在 FGTHETA 的一个完整周期内，FG 输出一段低电平和一段高电平。

图 17-26 FG 中断



通过 $DRVx_IER[FGIE]$ 使能 FG 中断。在 FG 信号的上升沿产生 FG 中断，中断标志位 $DRVx_IFR[FGIF]$ 硬件置 1。

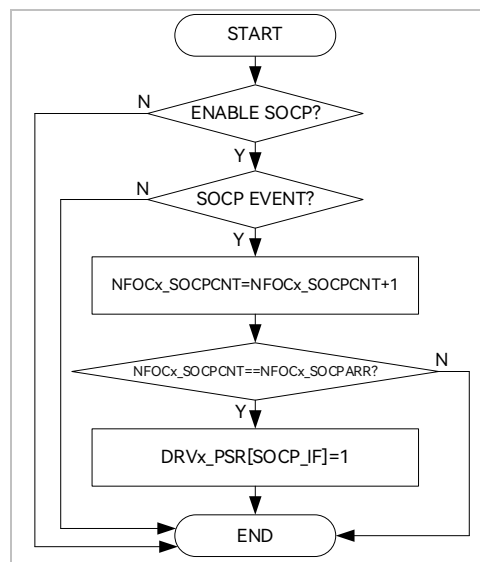
17.14.3 电机保护中断

17.14.3.1 软件过流保护

配置 $DRVx_PTR[SOCP_TRG] = 1$ 手动使能一次软件过流计算；配置 $DRVx_PER[SOCP_AUTO] = 1$ ，每个载波周期自动使能一次软件过流计算。判断软件过流事件发生的方法为：配置软件过流保护阈值 $NFOCx_SOCP$ ，当 $NFOCx_ITRIP > NFOCx_SOCP$ 时，即判断为发生软件过流事件。

配置软件过流保护计数目标值 $NFOCx_SOCPARR$ 。当软件过流事件发生时，软件过流保护计数值 $NFOCx_SOCPcnt$ 加 1。当 $NFOCx_SOCPcnt$ 等于 $NFOCx_SOCPARR$ 时，软件过流保护中断标志 $DRVx_PSR[SOCP_IF]$ 置 1。

图 17-27 软件过流保护流程图



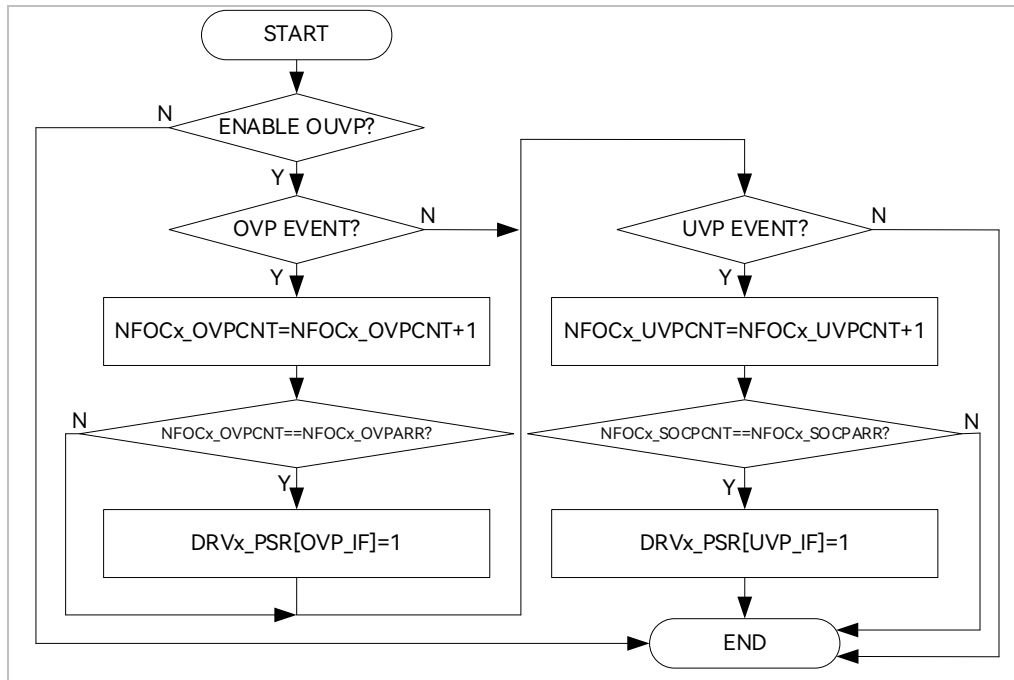
17.14.3.2 过/欠压保护

配置 $DRVx_PTR[OUVP_TRG] = 1$ 手动使能一次过/欠压计算；配置 $DRVx_PER[OUVP_AUTO] = 01$ ，每个载波周期自动使能一次过/欠压计算；配置 $DRVx_PER[OUVP_AUTO] = 10$ ，每个 Systick 周期自动使能一次过/欠压计算。判断过压事件发生的方法为：配置过压保护阈值 $NFOCx_OVP$ ，当 $NFOCx_UDCFLT > NFOCx_OVP$ 时，即判断为发生过压事件。判断欠压事件发生的方法为：配置过压保护阈值 $NFOCx_UVP$ ，当 $NFOCx_UDCFLT < NFOCx_UVP$ 时，即判断为发生欠压事件。

配置过压保护计数目标值 $NFOCx_OVPARR$ 。当过压事件发生时，过压保护计数值 $NFOCx_OVPCnt$ 加 1。当 $NFOCx_OVPCnt$ 等于 $NFOCx_OVPARR$ 时，过压保护中断标志位 $DRVx_PSR[OVP_IF]$ 置 1。

配置欠压保护计数目标值 $NFOC_x_UVPARR$ 。当欠压事件发生时，欠压保护计数值 $NFOC_x_UVPCNT$ 加 1。当 $NFOC_x_UVPCNT$ 等于 $NFOC_x_UVPARR$ 时，欠压保护中断标志位 $DRV_x_PSR[UVP_IF]$ 置 1。

图 17-28 过/欠压保护流程图



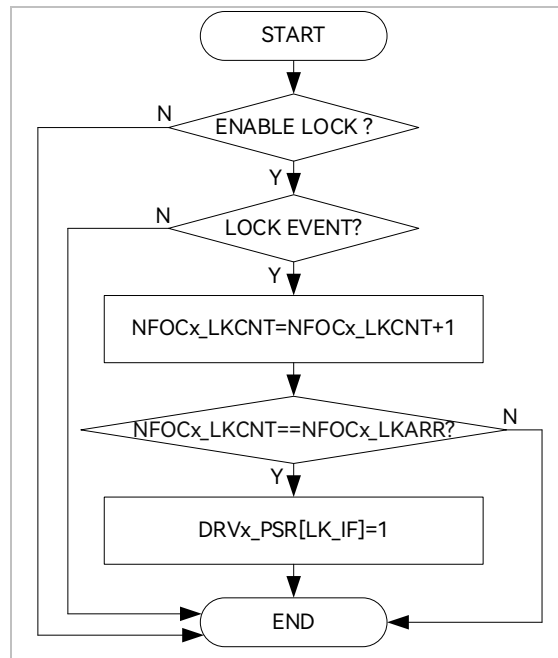
17.14.3.3 堵转保护

配置 $DRV_x_PTR[LOCK_TRG] = 1$ 手动使能一次堵转计算；配置 $DRV_x_PER[LOCK_AUTO] = 1$ ，每个 $systick$ 周期自动使能一次堵转计算。判断堵转事件发生的方法有三个，满足其一即判断为发生堵转事件：

- > 配置 $DRV_x_PER[LOCK0] = 1$ ，配置堵转最小转速 $NFOC_x_LKSMIN$ ，当 $NFOC_x_OMEFL2 < NFOC_x_LKSMIN$ 时，即判断为发生堵转事件；
- > 配置 $DRV_x_PER[LOCK1] = 1$ ，配置堵转最大转速 $NFOC_x_LKSMAX$ ，当 $NFOC_x_OMEFL2 > NFOC_x_LKSMAX$ 时，即判断为发生堵转事件；
- > 配置 $DRV_x_PER[LOCK2] = 1$ ，配置堵转速度与反电动势比值 $NFOC_x_LOCKK$ ，当 $NFOC_x_LOCKK * NFOC_x_EMF < NFOC_x_OMEFL2$ 时，即判断为发生堵转事件。

配置堵转保护计数目标值 $NFOC_x_LKARR$ 。当任一堵转事件发生时，堵转保护计数值 $NFOC_x_LKCNT$ 加 1。当 $NFOC_x_LKCNT$ 等于 $NFOC_x_LKARR$ 时，堵转保护中断标志位 $DRV_x_PSR[LK_IF]$ 置 1。

图 17-29 堵转保护流程图

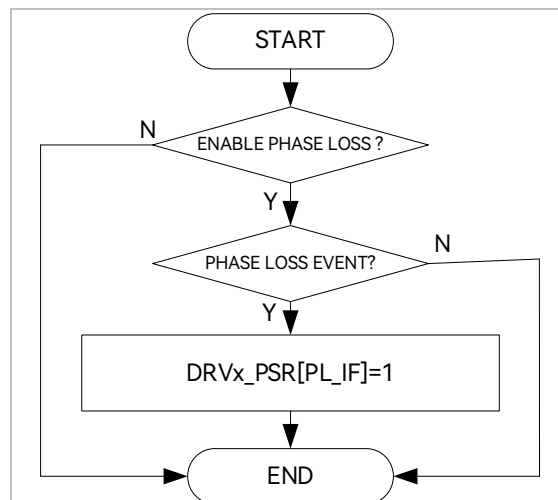


17.14.3.4 缺相保护

配置 $DRVx_PTR[PL_TRG] = 1$ 手动使能一次缺相计算；配置 $DRVx_PER[PL_AUTO] = 1$ ，每个电周期自动使能一次缺相计算。判断缺相事件发生的方法为：配置缺相保护电流值 $NFOCx_NCURR$ 和缺相保护电流倍数 $NFOCx_PLK$ ，若三相最大电流值 ($NFOCx_IAMAX$ 、 $NFOCx_IBMAX$ 和 $NFOCx_ICMAX$) 中存在某一相最大电流值大于 $NFOCx_NCURR$ ，且该最大电流值与 $NFOCx_PLK$ 的乘积大于其他任意一相电流的最大值，即判断为发生缺相事件。

当缺相事件发生时，缺相保护中断标志位 $DRVx_PSR[PL_IF]$ 置 1。

图 17-30 缺相保护流程图



17.15 高速电压相位补偿

从电流采样到 Driver 更新存在 1 个载波周期的延迟，此外以数字方式执行 SVPWM 逻辑时，不可避免地会产生进一步的时间延迟，一个零阶保持器的半个采样时间延迟可以作为对 SVPWM 的延迟良好近似，因此共有 1.5 个载波周期的延迟。电机处于高速状态时，这 1.5 个载波周期的延迟造成的角度误差对电机运行性能影响较大，因此需要进行补偿。由于 NFOCx_ETHETA 在补偿之前已经超前了 NFOCx_ATHETA 一个载波周期，因此在 NFOCx_FTCK 处补偿 0.5 个载波周期即可。

17.16 ME 寄存器

为了方便客户理解与配置 ME 模块，进而对电机实施精准控制与保护，峰岷科技将集成的寄存器分为了 24 类。

17.16.1 Driver 计数器寄存器

17.16.1.1 DRVx_IER (CSR:0x542/0x582) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
																										CAIE	THIE	FGIE	DCIP	DCIM	
																										RSV					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

位	名称	描述
[31:6]	RSV	保留
[5]	CAIE	计算完成异常中断使能 使能后，如果在计数器向上计数阶段完成 FOC 计算，则视为异常（主要针对高频注入和单电阻）。 0: 不使能 1: 使能
[4]	THIE	TH 中断使能 中断使能后，电角度从 0x7FFF 到 0x8000 时，产生一次 TH 中断 0: 不使能 1: 使能
[3]	FGIE	FG 中断使能 中断使能后，FOC 驱动每转一圈(电周期)，产生一次 FG 中断 0: 不使能

		1: 使能
[2]	DCIP	产生 Driver 比较匹配中断的周期数 0: 每个载波周期产生比较匹配中断 1: 每 2 个载波周期产生比较匹配中断
[1:0]	DCIM	比较匹配中断模式设置 当计数值等于 DRVx_COMR 时，根据 DRVx_IER[DCIM]的设置判断是否产生中断请求 00: 不产生中断 01: 计数器向上计数时产生中断 10: 计数器向下计数时产生中断 11: 计数器向上/向下计数时都产生中断

17.16.1.2 DRVx_IFR (CSR:0x543/0x583) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																									CAIF	THIF	FGIF	RSV	DCIF		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw0	rw0	rw0	-	-	rw0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0

位	名称	描述
[31:6]	RSV	保留
[5]	CAIF	计算完成异常中断标记 该位由硬件置 1。它由软件清 0。 0: 无事件发生 1: 计算完成异常中断产生
[4]	THIF	TH 中断标记 该位由硬件置 1。它由软件清 0。 0: 无事件发生 1: TH 中断产生
[3]	FGIF	FG 中断标记 该位由硬件置 1。它由软件清 0。 0: 无事件发生 1: FG 中断产生
[2:1]	RSV	保留
[0]	DCIF	DRV 比较匹配中断标记

		<p>当计数值等于 DRVx_COMR 时，根据 DRVx_IER[DCIM] 设置判断计数方向，符合则产生中断标记</p> <p>该位由硬件置 1。它由软件清 0。</p> <p>0: 无事件发生</p> <p>1: 比较中断产生</p>
--	--	--

17.16.1.3 DRVx_CNTR (CSR:0x55A/0x59A) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_CNTR																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CNTR	<p>计数器值</p> <p>Driver 对应占空比 = $DRVx_CNTR / DRVx_ARR * 100\%$</p> <p>取值范围[0,16383]</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <p>备注:</p> </div> <p style="margin-left: 20px;">只有在 DRVx_CR[DRVEN] = 1 时，才能写入 DRVx_CNTR</p>

17.16.1.4 DRVx_ARR (CSR:0x550/0x590) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_ARR																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_ARR	计数器的重载值，决定载波频率(中央对齐模式)

	<p>Driver 计数器从 0 开始计数到 DRVx_ARR，产生上溢事件，然后向下计数到 1，以此循环往复，载波频率 $f_{carrier} = f_{CLK} / (DRVx_ARR * 2)$</p> <p>例：48MHz 时钟下，DRVx_ARR = 1200，则载波频率 $f_{carrier} = 48M / (1200 * 2) = 20kHz$</p> <p>取值范围[0,16383]</p>
--	---

17.16.1.5 DRVx_COMR (CSR:0x552/0x592) (x = 1/2)


31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_COMR																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_COMR	计数器的比较匹配值 当计数值与 DRVx_COMR 相等且满足 DRVx_IER[DCIM]设定的条件时，产生 DRV 比较匹配中断请求。 匹配点对应的占空比 = DRVx_COMR / DRVx_ARR*100% 取值范围[0,16383]

17.16.1.6 DRVx_DR (CSR:0x551/0x591) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_DR																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_DR	三相 PWM 占空比设定值，写该寄存器时将所写值同时更新至 DRVx_CMPU1、DRVx_CMPD1、DRVx_CMPU2、DRVx_CMPD2、DRVx_CMPU3 和 DRVx_CMPD3

		<p>该寄存器只可写，不可读</p> <p>占空比 = $DRVx_DR / DRVx_ARR * 100\%$</p> <p>取值范围[0,16383]</p> <p> 备注:</p> <p>当使用该寄存器作为比较源时，输出 PWM 以上桥为参考，下桥为插入死区的互补输出</p>
--	--	--

17.16.1.7 DRVx_COMUR (CSR:0x55D/0x59D) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																DRVx_COMUR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	DRVx_COMUR	计数器向上计数时比较匹配中断对应 DRVx_DR 值

17.16.1.8 DRVx_COMDR (CSR:0x55E/0x59E) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																DRVx_COMDR															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	DRVx_COMDR	计数器向下计数时比较匹配中断对应 DRVx_DR 值

17.16.1.9 DRVx_CMPU1 (CSR:0x554/0x594) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_CMPU1																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CMPU1	A相 DRVx_CNTR 上升比较值 当 DRVx_CMPU1 > DRVx_CNTR 时输出为高 当 DRVx_CMPU1 ≤ DRVx_CNTR 时输出为低  备注: 当使用该寄存器作为比较源时，输出 PWM 以下桥为参考，上桥为插入死区的互补输出

17.16.1.10 DRVx_CMPD1 (CSR:0x555/0x595) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_CMPD1																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CMPD1	A相 DRVx_CNTR 下降比较值 当 DRVx_CMPD1 ≥ DRVx_CNTR 时输出为高 当 DRVx_CMPD1 < DRVx_CNTR 时输出为低



备注:

当使用该寄存器作为比较源时, 输出 PWM 以下桥为参考, 上桥为插入死区的互补输出

17.16.1.11 DRVx_CMPU2 (CSR:0x556/0x596) (x = 1/2)


31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV														DRVx_CMPU2																		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CMPU2	B相 DRVx_CNTR 上升比较值 当 DRVx_CMPU2 > DRVx_CNTR 时输出为高 当 DRVx_CMPU2 ≤ DRVx_CNTR 时输出为低  备注: 当使用该寄存器作为比较源时, 输出 PWM 以下桥为参考, 上桥为插入死区的互补输出

17.16.1.12 DRVx_CMPD2 (CSR:0x557/0x597) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														DRVx_CMPD2																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留

[13:0]	DRVx_CMPD2	<p>B相 DRVx_CNTR 下降比较值</p> <p>当 DRVx_CMPD2 ≥ DRVx_CNTR 时输出为高</p> <p>当 DRVx_CMPD2 < DRVx_CNTR 时输出为低</p> <p> 备注:</p> <p>当使用该寄存器作为比较源时，输出 PWM 以下桥为参考，上桥为插入死区的互补输出</p>
--------	------------	--

17.16.1.13 DRVx_CMPU3 (CSR:0x558/0x598) (x=1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																		DRVx_CMPU3													
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CMPU3	<p>C相 DRVx_CNTR 上升比较值</p> <p>当 DRVx_CMPU3 > DRVx_CNTR 时输出为高</p> <p>当 DRVx_CMPU3 ≤ DRVx_CNTR 时输出为低</p> <p> 备注:</p> <p>当使用该寄存器作为比较源时，输出 PWM 以下桥为参考，上桥为插入死区的互补输出</p>

17.16.1.14 DRVx_CMPD3 (CSR:0x559/0x599) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																		DRVx_CMPD3													
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	⌘	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13:0]	DRVx_CMPD3	<p>C相 DRVx_CNTR 下降比较值 当 $DRVx_CMPD3 \geq DRVx_CNTR$ 时输出为高 当 $DRVx_CMPD3 < DRVx_CNTR$ 时输出为低</p> <p> 备注: 当使用该寄存器作为比较源时, 输出 PWM 以下桥为参考, 上桥为插入死区的互补输出</p>

17.16.2 FOC 控制状态寄存器

17.16.2.1 ME_CR (CSR:0x500)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV														UDC_DIS	RSV										DRVSYN_EN	RSV	INTCD	TRIG_MD	UDC2_MAEN	RSV	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rW	-	-	-	-	-	-	-	rW	-	rW	rW	rW	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	0	-

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13]	UDC_DIS	禁止采样母线电压使能 使能后，硬件不自动采样母线电压，需软件采样后填入 FOC 寄存器 0: 不使能 1: 使能
[12:6]	RSV	保留
[5]	DRVSYN_EN	双电机同步使能 使能后，写 DRV1 域的寄存器时会同时写 DRV2 域的寄存器，但读 DRV1 域的寄存器仍是 DRV1 域的寄存器的值 0: 不使能 1: 使能 例：此位置 1 后，配置 DRV1_CR[DRVEN] = 1，则硬件会同时配置 DRV2_CR[DRVEN] = 1，从而使得 DRV1_CNTR 和 DRV2_CNTR 同时开始计数。  备注： 此功能可以使 DRV1 和 DRV2 的 DRVx_CNTR 同时启动
[4]	RSV	保留
[3]	INTCD	使能后外部中断 1（需要配置外部中断 1 的相关寄存器）能够将 DRVx_CNTR 更新为向上计数时 DRVx_ARR 的一半，用于 EtherCAT 同步 0: 不使能 1: 使能

		 备注: 外部中断 1 会产生中断, 如果不需要, 需要将中断优先级降低
[2]	TRIG_MD	主电机双电阻采样 ADC2 使能 使能后, 当主电机为双电阻采样时, 使用 ADC2 的通道 13 采样 ib。当主从电机均工作时此位禁止写 1。 0: 不使能 1: 使能  备注: 此模式不支持 DRVx_CR[DRV_DIR] = 1
[1]	UDC2_MAEN	母线电压采用从电机使能 使能后, FOC 计算使用从电机的母线电压, 需要软件更新母线电压值。 0: 不使能 1: 使能
[0]	RSV	保留

17.16.2.2 DRVx_CR (CSR:0x540/0x580) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																DRVCNTRDIR	DRVLDM	RSV			DRVUDMD	DRVUDRN	OCP_MOEMD	MOEMD	DRVMD	DDIR	DRVEN	DRVOE			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	DRVCNTRDIR	DRVx_CNTR 方向 0: 向上计数 1: 向下计数
[14:13]	DRVLDM	DRVx_ARR 和 DRVx_CMR 更新模式 00: 不更新 01: 在更新 CMPx 的时候更新 DRVx_ARR 10: 在更新 CMPx 的时候更新 DRVx_ARR 和 DRVx_CMR, 但只更新一次, 更新后, DRVLDM 清 0 11: 在更新 CMPx 的时候更新 DRVx_ARR 和 DRVx_CMR

[12:10]	RSV	保留
[9:8]	DRVUDMD	DRVx_CMPUx/Dx, DRVx_ARR, DRVx_CMR, DRVx_TRG1/2 更新模式 00: 上溢, 下溢, 三角波模式下的 FOC 计算结束后 01: 上溢, 下溢 10: 下溢(DRVx_CR[DRVUDRN]需配置 1) 11: 上溢(DRVx_CR[DRVUDRN]需配置 1)
[7]	DRVUDRN	三角波模式, DRVx_CMPUx/Dx 的更新方法 0: 下溢更新 DRVx_CMPDx, 上溢更新 DRVx_CMPUx 1: 下溢/上溢均更新 DRVx_CMPDx/Ux
[6]	OCP_MOEMD	过流保护中断 MOE 使能 发生 CMP4 过流保护事件会使 MOE 硬件清 0 0: 不使能 1: 使能
[5:4]	MOEMD	MOE 硬件清 0 和使能选择 发生 CMP3 过流保护事件会使 MOE 硬件清 0 和使能 00: MOE 不自动清 0 01: MOE 自动清 0 10: MOE 自动清 0, 且在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 5.3 μ s (时钟频率 48MHz) 后自动使能 MOE 11: MOE 自动清 0, 且在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 2.6 μ s (时钟频率 48MHz) 后自动使能 MOE
[3]	DRVMD	DRVx_CNTR 计数方式 0: 三角波模式 1: 锯齿波模式
[2]	DDIR	输出方向(正反转) 0: 正转 1: 反转  备注: 无感 FOC 改变此位即可改变方向, 有感 FOC 还需配合软件修改角度
[1]	DRVEN	计数器使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	DRVOE	Driver 输出使能 0: 不使能 1: 使能

17.16.2.3 DRVx_OUT (CSR:0x541/0x581) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
RSV																HREV_EN	LREV_EN	RSV						MOE	RSV	OISWL	OISWH	OISVL	OISVH	OISUL	OISUH			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r/w	r/w	-	-	-	-	-	-	-	r/w	-	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	HREV_EN	上桥预驱反相使能 0: 不使能 1: 使能
[14]	LREV_EN	下桥预驱反相使能 0: 不使能 1: 使能
[13:8]	RSV	保留
[7]	MOE	主输出使能 用于选择三相上下桥输出信号的来源。该位可由软件置 1 和清 0。母线电流保护产生时，硬件自动清 0，关闭输出。 0: 不使能，输出来源于空闲电平 DRVx_OUT[OISUH]/DRVx_OUT[OISVH]/DRVx_OUT[OISWH]/DRVx_OUT[OISUL]/DRVx_OUT[OISVL]/DRVx_OUT[OISWL]。 1: 使能，输出来源于计数器比较值
[6]	RSV	保留
[5]	OISWL	W 相下桥的输出空闲电平 参考 OISUH 描述
[4]	OISWH	W 相上桥的输出空闲电平 参考 OISUH 描述
[3]	OISVL	V 相下桥的输出空闲电平 参考 OISUH 描述
[2]	OISVH	V 相上桥的输出空闲电平 参考 OISUH 描述
[1]	OISUL	U 相下桥的输出空闲电平 参考 OISUH 描述
[0]	OISUH	U 相上桥的输出空闲电平

		该位设置 UH 的输出空闲电平。当 DRVx_OUT[MOE] = 0 时，输出空闲电平 关闭 MOS 0: 低电平 1: 高电平
--	--	--

17.16.2.4 DRVx_CMR (CSR:0x547/0x587) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0							
RSV																				WHP	WLP	VHP	VLP	UHP	ULP	WHE	WLE	VHE	VLE	UHE	ULE							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							

位	名称	描述
[31:12]	RSV	保留
[11]	WHP	W 相上管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[10]	WLP	W 相下管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[9]	VHP	V 相上管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[8]	VLP	V 相下管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[7]	UHP	U 相上管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[6]	ULP	U 相下管极性控制 0: 正常输出 1: 反向互补输出
[5]	WHE	W 相上管输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	WLE	W 相下管输出使能 0: 不使能

		1: 使能
[3]	VHE	V相上管输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	VLE	V相下管输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	UHE	U相上管输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	ULE	U相下管输出使能 0: 不使能 1: 使能

17.16.2.5 NFOCx_CMRS (0x30000276/ 0x30010276) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																NFOCx_CMRS															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_CMRS	DRVx_CMRS 影子寄存器

17.16.2.6 DRVx_FCR0 (CSR:0x548/0x588) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RSV																FDIS_MD		UALBE_SEL	LO_EN	ITPOWMD		RSV	NVQDIS	NVDDIS	NCSAMMD						NCALEN	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	w	r	w	-	r	w	r	w	r	w	r	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:13]	FDIS_MD	<p>FOC 跳过计算模式选择，用于特殊应用节省时间</p> <p>001: 跳过 NFOCx_ZALPHA 和 NFOCx_ZBETA 前面的反电动势估算，用户填 NFOCx_ZALPHA 和 NFOCx_ZBETA，从 NFOCx_ZALPHA 和 ZBETA 开始计算，可用于 MR</p> <p>010: 跳过全部反电动势估算，用户填 NFOCx_EALPHA 和 NFOCx_EBETA，从 NFOCx_EALPHA 和 NFOCx_EBETA 开始计算</p> <p>011: 跳过观测器到 NFOCx_EALPHA/NFOCx_EBETA，从速度开始计算，软件填 NFOCx_OEMGA</p> <p>100: 跳过角度计算，用户填 NFOCx_THETA 从电流环开始计算，可用于伺服</p> <p>101: 只计算 SMO 的估算电流，用户填 NFOCx_ZALPHA 和 NFOCx_ZBETA 从 ZALPHA 和 ZBETA 开始计算</p> <p>110: 只计算电流电压 ia/ib/ic 和 UA/UB/UC，其他跳过</p> <p>111: 跳过反电动势和速度估算，从 HFI/LO/OMEGA 启动开始计算</p>
[12]	UALBE_SEL	<p>NFOCx_UDCALP/NFOCx_UDCBET 的计算源选择</p> <p>选择 NFOCx_UALORG 或 NFOCx_UALPHA 进行* NFOCx_UDC 计算得到 NFOCx_UDCALP 送入观测器、NFOCx_US 计算和 NFOCx_UTHETA 计算。在 NFOCx_UALPHA、NFOCx_UBETA 进行死区补偿时，可置 1。</p> <p>0: NFOCx_UALPHA</p> <p>1: NFOCx_UALORG</p>
[11]	LO_EN	<p>低速观测器使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p>
[10:9]	ITPOWMD	<p>功率计算模式</p> <p>00: 不计算 NFOCx_ITRIP、NFOCx_POWER 和 NFOCx_IS</p> <p>01: 只计算 NFOCx_POWER，用于手动填 ADC 采样得到 NFOCx_ITRIP</p> <p>10: NFOCx_ITRIP = NFOCx_US * NFOCx_IS，同时计算 NFOCx_POWER，NFOCx_IS 由 NFOCx_IALPHA 和 NFOCx_IBETA 得到</p> <p>11: NFOCx_ITRIP = NFOCx_US * NFOCx_IS，同时计算 NFOCx_POWER，NFOCx_IS 由 NFOCx_IDFLT 和 NFOCx_IQFLT 得到</p>
[8]	RSV	保留
[7]	NVQDIS	<p>q 轴 PI 禁止使能</p> <p>0: 不禁止</p> <p>1: 禁止</p>
[6]	NVDDIS	d 轴 PI 禁止使能

		<p>0: 不禁止 1: 禁止</p>
[5:1]	NCSAMMD	<p>电流采样模式选择</p> <p>00000: 单电阻 00001: 双电阻 00010: 三电阻 00011: 新单电阻 00100: 旧单电阻忽略模式 00110: 新三电阻, 动态采样点 00111: 新单电阻模式 2 01000: 单电阻动态前后采样, 输出小不能用此模式 01001: 双电阻 2 次采样 01010: 新单电阻模式 3, U/V/W 都开窗, 轮流采样 01011: 新单电阻模式 4, 在每个载波的固定点采样, 固定采 ib 和 ic, 用于高频注入 01100: 新单电阻模式 5, 在每个载波的固定点进行采样, 动态采样, 用于高频注入。 10001: 三电阻手动模式, 同普通三电阻, 但此模式下需要软件填写 DRVx_FCR7[CBA_MTSAM]来决定电流采样通道</p> <p> 备注: 关于新单电阻、旧单电阻忽略模式、新单电阻模式 2、单电阻动态前后采样, 输出小不能用此模式、双电阻 2 次采样、新单电阻模式 3、新单电阻模式 4、新单电阻模式 5 的更多细节, 请联系峰昭科技销售人员。</p>
[0]	NCALEN	<p>FOC 计算使能</p> <p>使能后, 每个载波进行 FOC 计算、电流采样、占空比更新到三相比值寄存器</p> <p>0: 不使能 1: 使能</p>

17.16.2.7 DRVx_FCR1 (CSR:0x549/0x589) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																WPIAUTO	WPILDEN	FG_MD	WPIMD	RAMP_AUTO	RAMPMD	OME_STA_MD	CT_SEL	ANGMAMD	OME_ABS_EN	FG_IDLE_LEVEL	FG_CALEN	FG_OE					

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:14]	WPIAUTO	外环 PI 自动计算使能 00: 不使能 01: 一个载波周期计算一次 10: 一个 Systick 周期计算一次 11: 无意义
[13]	WPILDEN	IQREF 自动装载使能 使能后, NFOCx_WUK 的结果自动更新到 NFOCx_IQREF 0: 不使能 1: 使能
[12]	FG_MD	FG 计数时钟选择 0: 750kHz 计数 1: 48MHz 计数
[11:10]	WPIMD	外环选择 00: 用户手动填 NFOCx_WFDB 01: 速度环 10: 电压环 11: 功率环
[9]	RAMP_AUTO	爬坡自动计算使能 使能后, 一个 Systick 周期计算一次 0: 不使能 1: 使能
[8:7]	RAMPMD	爬坡值自动更新模式选择 00: 不自动更新 01: 自动更新到 NFOCx_WREF 10: 自动更新到 NFOCx_IQREF 11: 自动更新到 NFOCx_QUK[31:16]  备注: 自动更新需考虑关闭原来环路的自动更新, 例如 DRVx_FCR1[WPILDEN]
[6]	OME_STA_EN	Omega 启动使能 0: 不使能 1: 使能

[5]	CT_SEL	FOC 计算时机选择 0: Driver 计数器上溢点 1: 电流采样后(单电阻在 Driver 计数器下溢点计算)
[4]	ANGMAMD	角度手动模式使能 使能后, NFOCx_THETA 不再来源于 NFOCx_OTHETA 0: 不使能 1: 使能
[3]	OME_ABS_EN	估算角度允许反转使能 使能后, 估算角度允许反转 0: 不使能 1: 使能
[2]	FG_IDLE_LEVEL	FG 初始电平 0: 低电平 1: 高电平
[1]	FG_CALEN	FG 计算使能 当 DRVx_FCR1[FG_OE] = 1 时, 若此位置 1, 则 FG 自动更新 0: 不使能 1: 使能
[0]	FG_OE	FG 输出使能 0: 不使能 1: 使能

17.16.2.8 DRVx_FCR2 (CSR:0x54A/0x58A) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																HFI_ST	OFFSET_EN	FWEAK_MD	FWEAK_EN	RSV	HFI_ST1	OMESTA_MD	NSEG5	UQINJ_EN	RSV	RSV	OMELD_EN	HFI_CAL_EN	HFI_TOG_EN	IDQ_MD	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	-	rw	rw	rw	rw	-	-	-	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15]	HFI_ST	高频注入时 UD 状态 0: UD 为正 1: UD 为负
[14]	OFFSET_EN	OFFSET 校准使能

		使能后，轮流校准 ia、ib、ic/itrip，校准完成后自动清 0 此位由软件置 1，硬件清 0。 0：不使能 1：使能
[13]	FWEAK_MD	弱磁模式选择 0：模式 0 1：模式 1
[12]	FWEAK_EN	弱磁使能 0：不使能 1：使能
[11]	RSV	保留
[10]	HFI_ST1	高频电流取反标记位 0：未取反 1：取反
[9]	OMESTA_MD	OMEGA 启动切换方式 0：NFOCx_ETHERTA 的积分来源为 NFOCx_THETA 1：NFOCx_ETHERTA 的积分来源为 NFOCx_ETHERTA
[8]	NSEG5	5 段式 SVPWM 使能 0：不使能 1：使能
[7]	UQINJ_EN	UQ 注入使能，使能自动更新 NFOCx_UQCPS
[6:4]	RSV	保留
[3]	OMELD_EN	速度选择 0：选择观测器的速度进行后续的角度计算 1：选择 HFI 或 LO 计算的速度  备注： 此位置 1 时可以进行 HFI 或 LO 计算，但是不选择 HFI 或 LO 计算的速度进行后续的角度计算
[2]	HFI_CAL_EN	高频注入（HFI）使能 使能后，自动进行 atan 和 PI 计算 0：不使能 1：使能
[1]	HFI_TOG_EN	高频注入电压自动取反使能 0：不使能 1：使能
[0]	IDQ_MD	ID 和 IQ 模式选择使能

		使能后，NFOCx_ID 为当前计算 ID 值与 NFOCx_ID0 的平均值，NFOCx_IQ 为当前计算 IQ 与 NFOCx_IQ0 的平均值 0: 不使能 1: 使能
--	--	---

17.16.2.9 DRVx_FCR3 (CSR:0x54B/0x58B) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
RSV														NOVMDL	DEL_MD		RSV														DLY_EN	SAMPM_EN			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	

位	名称	描述
[31:15]	RSV	保留
[14]	NOVMDL	过调制使能 0: 不使能 1: 使能
[13:12]	DEL_MD	PLL 角度计算模式 00: atan 01: sincos 10: sincos 后Δtheta/EMF 11: 保留
[11:2]	RSV	保留
[1]	DLY_EN	FOC 计算延迟使能，配合 DRVx_FCR1[CT_SEL] = 1 使用，一般在高载波时使用 0: 不使能 1: 使能
[0]	SAMPM_EN	采样点手动使能 0: 不使能 1: 使能

17.16.2.10 DRVx_FCR4 (CSR:0x54C/0x58C) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV														WPI_CAL	RSV	CUR_SAM_EN	RSV														UDQ_LPF_EN		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r/w	-	r/w	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r/w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	

位	名称	描述
[31:14]	RSV	保留
[13]	WPI_CAL	外环计算标记 0: 不执行外环计算 1: 执行外环计算  备注: 该位只读, 不可写
[12]	RSV	保留
[11]	CUR_SAM_EN	强制电流采样使能, 不管 DRVx_FCR0[NCALEN]是否使能, 都进行电流采样 0: 不使能 1: 使能
[10:1]	RSV	保留
[0]	UDQ_LPF_EN	UD、UQ 低通滤波器使能 0: 不使能 1: 使能

17.16.2.11 DRVx_FCR5 (CSR:0x54D/0x58D) (x = 1/2)


31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																	ANGFU_MD	DTC_EN	RSV	ENCODER_STA_CYCLE	UABC_SEL	ANGFU_MAEN	ANGFU_EN	IDQ_FB_SEL	IDQ_LPF_EN	LUTEN_N					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:13]	RSV	保留
[12:11]	ANGFU_MD	角度融合角度来源选择 00: HFI 角度 01: 融合角度 1x: SMO/AO/FO 角度
[10]	DTC_EN	死区补偿使能 0: 不使能 1: 使能
[9]	RSV	保留
[8:7]	ENCODER_STA_CYCLE	编码器自动触发计算周期选择 00: 每个载波中断 01: 每 2 个载波中断 10: 每 4 个载波中断 11: 每 8 个载波中断
[6:5]	UABC_SEL	采样与采样源选择 00: 不采样, 使用 UALPHA / BETA 和 UDC 计算的值更新到 UDCALPHA / BETA 01: 采样, 使用 UALPHA / BETA 和 UDC 计算的值更新到 UDCALPHA / BETA 10: 采样, 使用没有速度补偿的值更新到 UDCALPHA / BETA 11: 采样, 使用速度补偿后的值更新到 UDCALPHA / BETA
[4]	ANGFU_MAEN	角度融合手动使能 0: 不使能 1: 使能

[3]	ANGFU_EN	角度融合使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	IDQ_FB_SEL	d/q 轴电流环反馈值选择, 须配置 DRVx_FCR5[IDQ_LPF_EN] = 1 0: NFOCx_ID / NFOCx_IQ 1: NFOCx_IDFLT / NFOCx_IQFLT, 须配置 DRVx_FCR5[IDQ_LPF_EN] = 1
[1]	IDQ_LPF_EN	ID、IQ 低通滤波器使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	LUTEN_N	Sine/Cosine 计算查表法使能 0: 查表法 1: CORDIC

17.16.2.12 DRVx_FCR6 (CSR:0x54E/0x58E) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
RSV																					CVD_SEL	CVD_EN	ESTU_SEL		ESTID_SEL		MFP_MD	EST_MD							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

位	名称	描述
[31:11]	RSV	保留
[10]	CVD_SEL	复矢量 QUK_ERR, DUK_ERR 选择 0: QUK_ERR = QUK_FIN - QUK_LIMIT, DUK_ERR = DUK_FIN - DUK_LIMIT 1: QUK_ERR = QUK_FIN - NFOCx_CVQULO, DUK_ERR = DUK_FIN - NFOCx_CVDULO  备注: <ul style="list-style-type: none"> > QUK_ERR: 解耦控制器q轴电压输出差值 > QUK_FIN: 解耦控制器q轴电压无限幅时的输出 > QUK_LIMIT: 解耦控制器q轴电压限幅后的输出 > DUK_ERR: 解耦控制器d轴电压输出差值 > DUK_FIN: 解耦控制器d轴电压无限幅时的输出

		<ul style="list-style-type: none"> > DUK_LIMIT: 解耦控制器d轴电压限幅后的输出 > NFOCx_CVQULO, NFOCx_CVDULO为静态寄存器, 需要软件更新
[9]	CVD_EN	<p>电流环解耦使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p>
[8:6]	ESTU_SEL	<p>观测器读取 NFOCx_UDCALP / NFOCx_UDCBET 时的 Q 格式选择 (NFO、AFO、CFO 使用)</p> <p>000: Q15</p> <p>001: Q14</p> <p>010: Q13</p> <p>011: Q12</p> <p>100: Q11</p> <p>其它: Q10</p> <p> 备注: NFOCx_UDCALP 的值没有影响</p>
[5:4]	ESTID_SEL	<p>NFO、AFO、CFO 的 ID 来源</p> <p>00: NFOCx_ID</p> <p>01: NFOCx_IDREF</p> <p>1x: NFOCx_IDFLT</p>
[3]	MFP_MD	<p>SMO 模式选择</p> <p>0: 旧模式, NFOCx_ZALPHA / NFOCx_ZBETA + NFOCx_EALPHA / NFOCx_EBETA</p> <p>1: 新模式, NFOCx_ZALPHA / NFOCx_ZBETA + 0</p> <p>AO: 高速电机模式, 会影响低速性能</p> <p>NFO/CFO: 滤波使能</p>
[2:0]	EST_MD	<p>观测器选择</p> <p>000: SMO</p> <p>001: AO</p> <p>010: CFO</p> <p>011: NFO</p> <p>100: AFO</p>

17.16.2.13 DRVx_FCR7 (CSR:0x54F/0x58F) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																CVKP_SEL		CVKI1_SEL		CVKI2_SEL		CVKO_SEL		RSV					CBA_MTSAM				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:14]	CVKP_SEL	解耦控制器 KP Q 格式选择 00: Q14 01: Q13 10: Q12 11: Q10
[13:12]	CVKI1_SEL	解耦控制器 KI1 Q 格式选择 00: Q14 01: Q13 10: Q12 11: Q10
[11:10]	CVKI2_SEL	解耦控制器 KI2 Q 格式选择 00: Q14 01: Q13 10: Q12 11: Q10
[9:8]	CVKO_SEL	解耦控制器其他系数 Q 格式选择 00: Q14 01: Q13 10: Q12 11: Q11
[7:3]	RSV	保留
[2:0]	CBA_MTSAM	三电阻手动模式下的电流采样通道选择 001: 先采样 ib, 后采样 ia 010: 先采样 ia, 后采样 ic 011: 先采样 ia, 后采样 ib 100: 先采样 ic, 后采样 ib

101: 先采样 ib, 后采样 ic
 110: 先采样 ic, 后采样 ia
 000/111: 非法



备注:

CBA_MTSAM 立刻生效, 没有缓存, 所以不能在采样和计算 ia/ib/ic 之间更新

17.16.2.14 DRVx_DTR (CSR:0x553/0x593) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																								DRVx_DTR									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
[31:8]	RSV	保留
[7:0]	DRVx_DTR	死区时间设置 死区时间 = $DRVx_DTR * T_{CLK}$ 例:48MHz 时钟下, $DRVx_DTR = 12$, 则死区时间 = $12 * 20.83ns = 250ns$
		备注: 如果设定 $DRVx_DTR = 0$, 则不插入死区

17.16.2.15 DRVx_ARRSH (CSR:0x55F/0x59F) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
RSV																DRVx_ARRSH																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

位	名称	描述
---	----	----

[31:16]	RSV	保留
[15:0]	DRVx_ARRSH	DRVx_ARR 影子寄存器

17.16.3 时间与采样寄存器

17.16.3.1 NFOCx_TS (0x30000278/0x30010278) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																NFOCx_TS															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TS	单电阻采样模式下: 电流采样最小窗口 双/三电阻模式下: 最小采样脉宽 $T_S = \text{采样窗口 } T_{\text{window}} + \text{死区时间 } T_{\text{DT}}$ 取值范围[0,32767] 例: $T_{\text{window}} = 1\mu\text{s}$, $T_{\text{DT}} = 1\mu\text{s}$, $T_S = 2\mu\text{s}$, 载波周期为 $62.5\mu\text{s}$, 则单电阻采样模式下 $NFOCx_TS = (1 + 1)/62.5 * 65535 = 2097$

17.16.3.2 NFOCx_NTS (0x3000027A/0x3001027A) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																NFOCx_NTS															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:10]	RSV	保留
[9:0]	NFOCx_NTS	三电阻脉宽屏蔽/新单电阻最小脉宽 三电阻电流采样模式下采样屏蔽时间, 当下桥导通的时间小于 NFOCx_NTS, 则不采样该相的电流, 采用特殊处理得到电流。 取值范围[0,1023] 例: 下桥导通时间小于 $1\mu\text{s}$ 不采样, $NFOCx_NTS = 1000\text{ns}/20.8\text{ns} = 48$

17.16.3.3 NFOCx_TDLY (0x3000027C/0x3001027C) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																NFOCx_TDLY															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TDLY	电流采样触发时机 当 NFOCx_TDLY = 0，默认在以下时刻进行电流采样 单电阻采样模式：死区与有效矢量的中点 双/三电阻采样模式：矢量 000 中点(Driver 计数器为 0) 取值范围[-32768,32767] 单电阻采样模式：如 NFOCx_TDLY = 5，则延迟 5*T = 104ns； NFOCx_TDLY = 0xFFFF (补码) 或 NFOCx_TDLY = -5，则提前 104ns； 双三电阻采样模式：如 NFOCx_TDLY = 5，则当 Driver 计数器向下计数，在下溢事件后 5*T = 104ns 进行采样；如 NFOCx_TDLY = 0x8005，在下溢事件前 5*T = 104ns 进行采样。

17.16.3.4 NFOCx_TDLYD (0x3000027E/0x3001027E) (x = 1/2)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RSV																NFOCx_TDLYD															
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TDLYD	单电阻动态前后采样时机 取值范围[-32768,32767]

17.16.3.5 NFOCx_TDTC (0x300001B6/0x300101B6) (x = 1/2)

RSV																NFOCx_TDTC																				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TDTC	双/三电阻死区补偿值 取值范围[0,32767]

17.16.3.6 NFOCx_I1 (0x300001BC/0x300101BC) (x = 1/2)

RSV																NFOCx_I1																				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

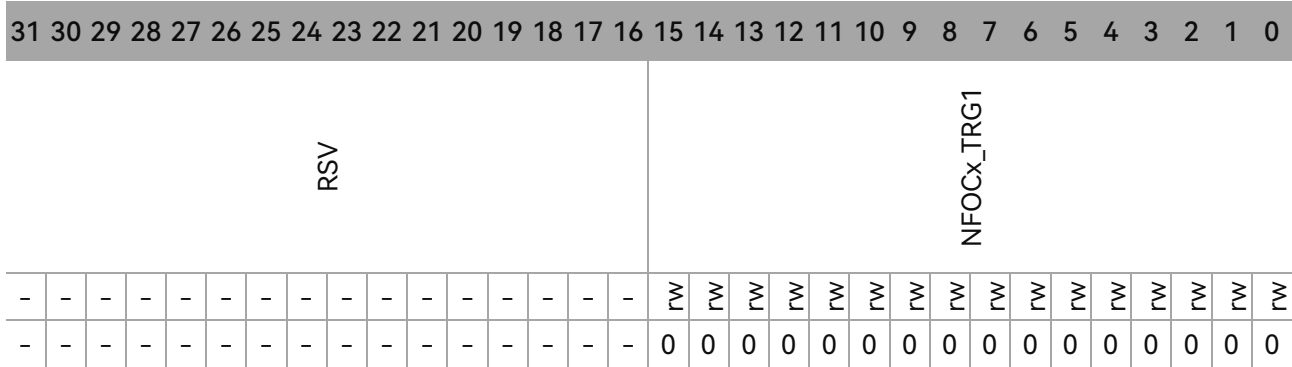
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_I1	第一次采样 ADC 值 取值范围[0,32767]

17.16.3.7 NFOCx_I2 (0x300001BE/0x300101BE) (x = 1/2)

RSV																NFOCx_I2																				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

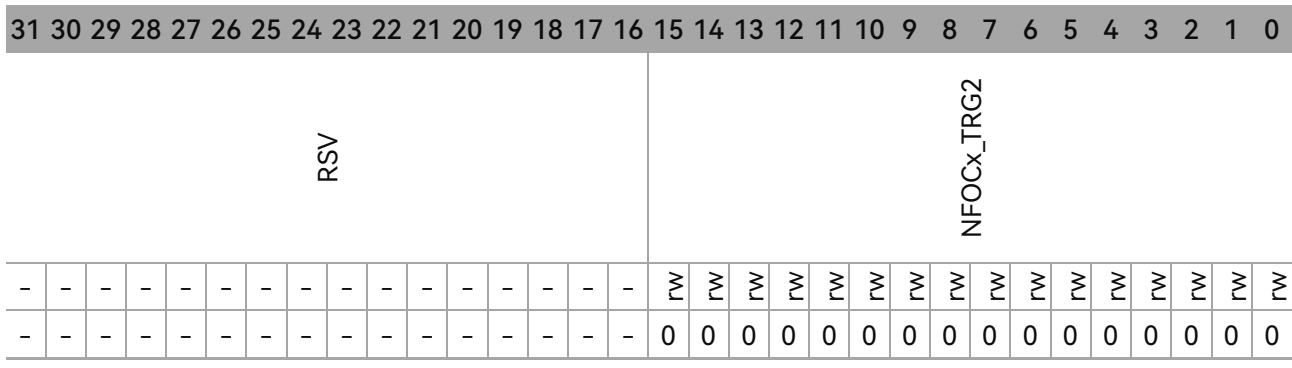
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_I2	第二次采样 ADC 值 取值范围[0,32767]

17.16.3.8 NFOCx_TRG1 (0x30000250/0x30010250) (x = 1/2)



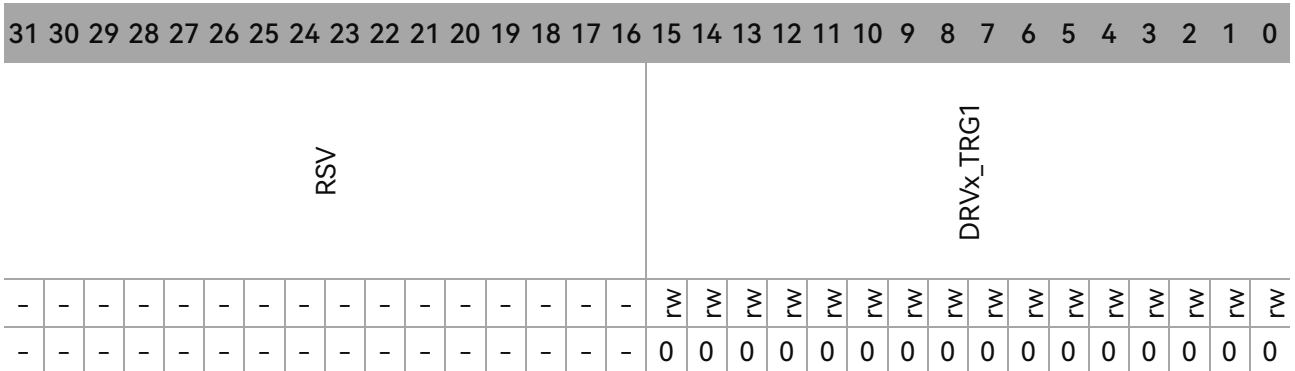
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TRG1	NFOCx_I1 采样点对应 DRVx_DR 值 取值范围[0,32767]

17.16.3.9 NFOCx_TRG2 (0x30000252/0x30010252) (x = 1/2)



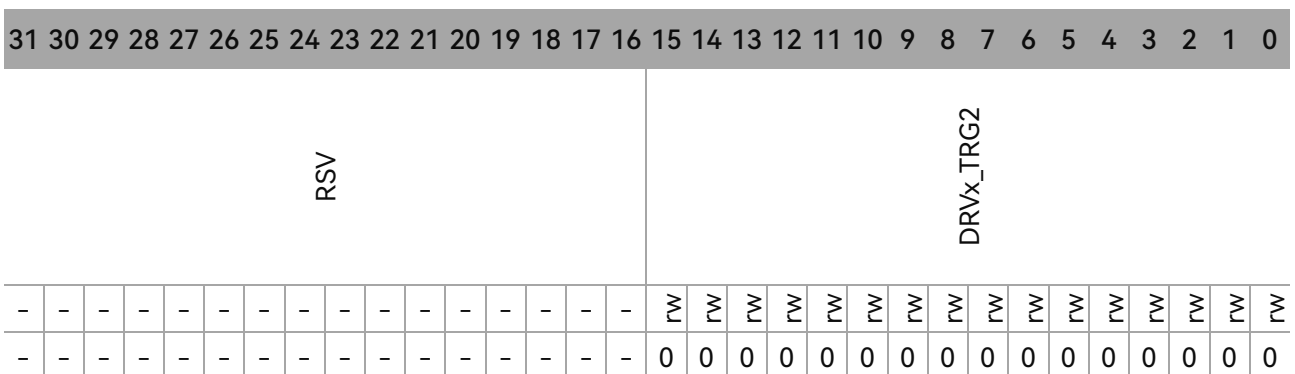
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	NFOCx_TRG2	NFOCx_I2 采样点对应 DRVx_DR 值 取值范围[0,32767]

17.16.3.10 DRVx_TRG1 (CSR:0x55B/0x59B) (x = 1/2)



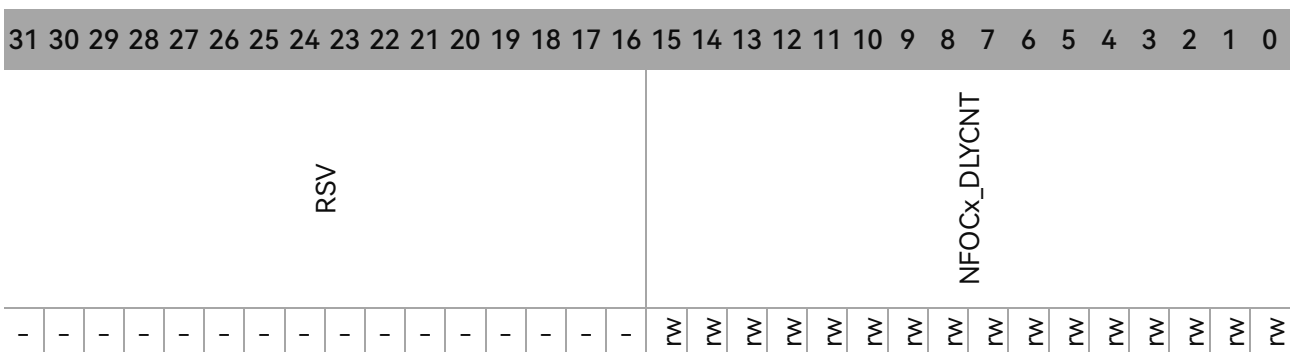
位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	DRVx_TRG1	L1 采样点对应 DRVx_DR 值

17.16.3.11 DRVx_TRG2 (CSR:0x55C/0x59C) (x = 1/2)



位	名称	描述
[31:16]	RSV	保留
[15:0]	DRVx_TRG2	L2 采样点对应 DRVx_DR 值

17.16.3.12 NFOCx_DLYCNT (0x30000396/0x30010396) (x = 1/2)

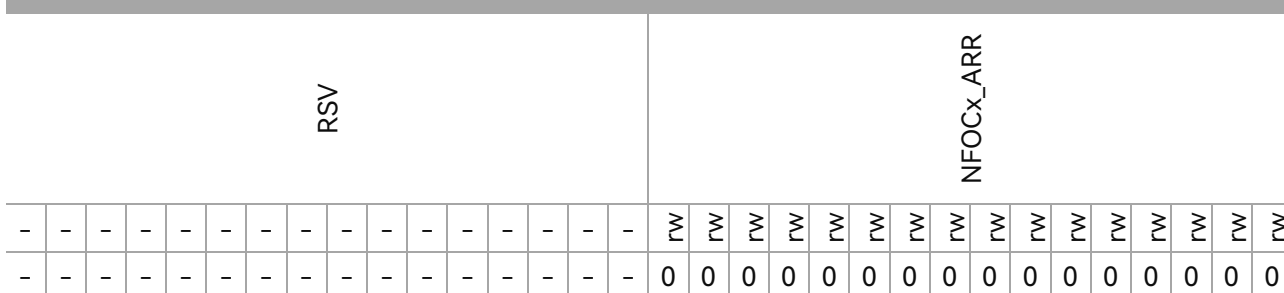


- - - - - - - - - - - - - - - - 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DLYCNT | FOC 计算延时值
取值范围[0,32767] |

17.16.3.13 NFOCx_ARR (0x30000280/0x30010280) (x = 1/2)

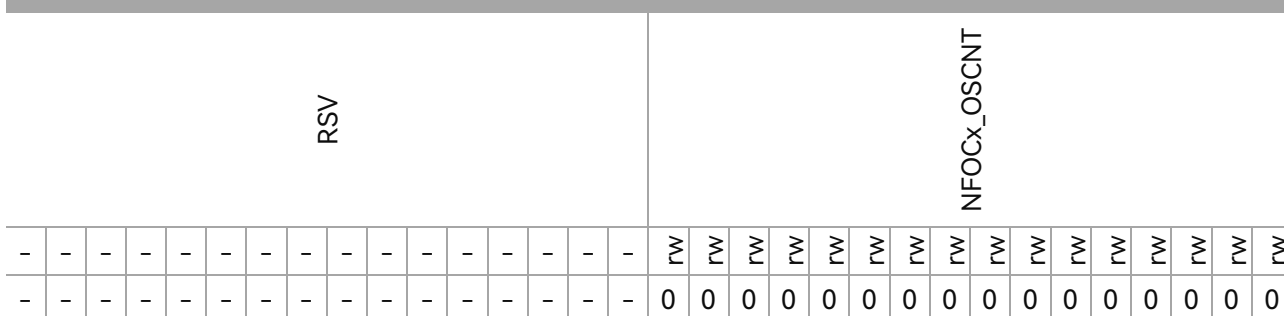
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ARR | FOC 载波频率，须与 DRVx_ARR 的值保持一致
取值范围[0,32767] |

17.16.3.14 NFOCx_OSCNT (0x3000037E/0x3001037E) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OSCNT | 电流偏置校准计数值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.3.15 NFOCx_OSSUM (0x30000380/0x30010380) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

NFOCx_OSSUM

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|---|
| [31:0] | NFOCx_OSSUM | 电流偏置校准累加值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.3.16 NFOCx_CSAM (0x3000038E/ 0x3001038E) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

RSV

NFOCx_CSAM

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CSAM | 电流采样影子寄存器 |

17.16.4 电压寄存器

17.16.4.1 NFOCx_UDC (0x30000000/0x30010000) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UDC | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

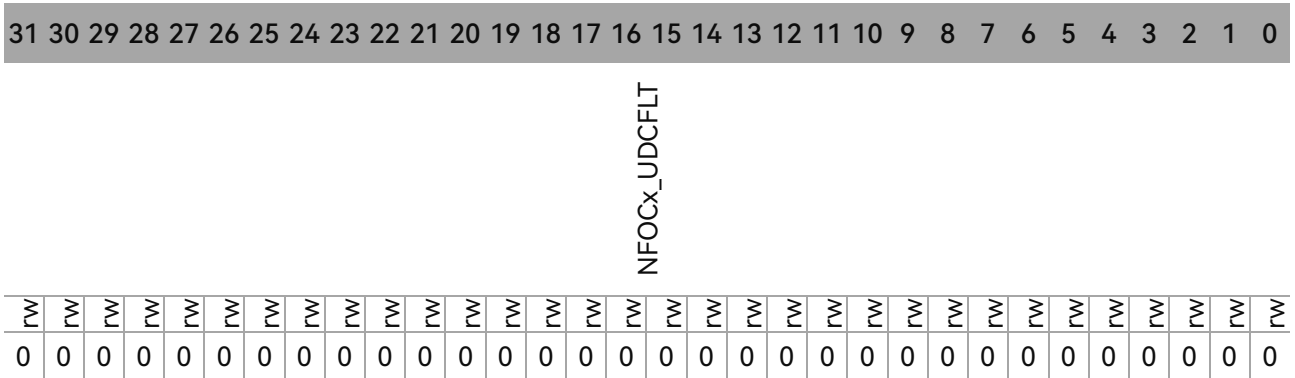
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDC | 母线电压采样值
取值范围[0,32767]
例: 母线电压 1/6 分压送进 ADC, ADC 的参考电压为 5V, 即母线电压的采样范围为 0V ~ 30V, NFOCx_UDC 为 19661(CSR:0x4CCD), 则母线电压 = 19661/32768*5V*6 = 18V。 |

17.16.4.2 NFOCx_UDCK (0x30000002/0x30010002) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UDCK | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

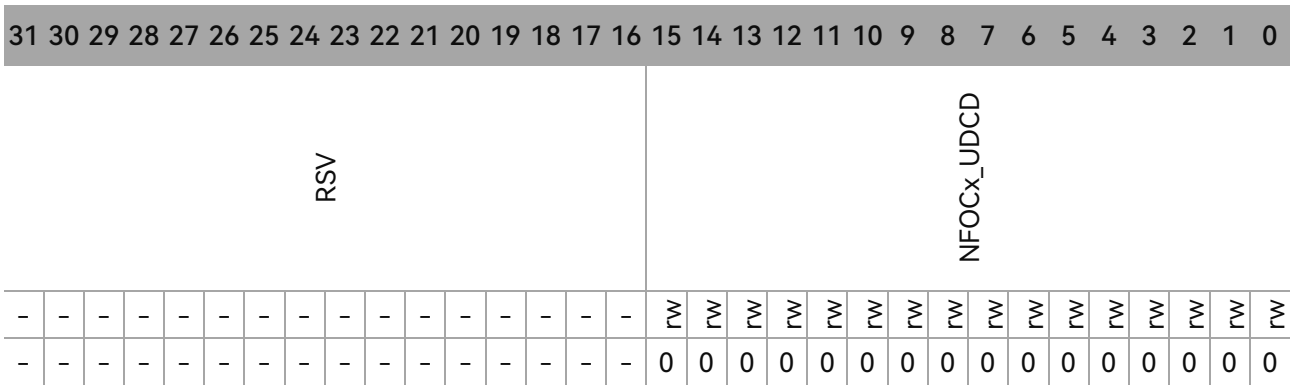
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCK | 母线电压采样滤波系数, 最高位恒为 0, Q15 格式
取值范围[0,32767] |

17.16.4.3 NFOCx_UDCFLT (0x30000004/0x30010004) (x = 1/2)



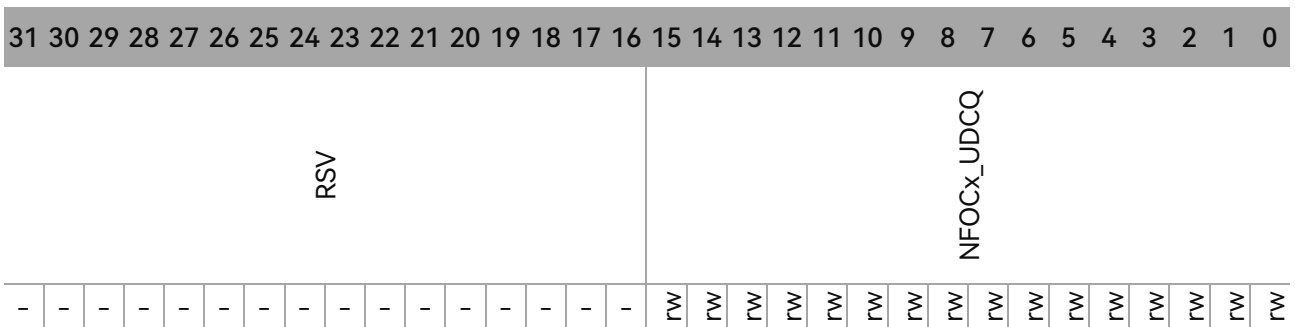
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|--|
| [31:0] | NFOCx_UDCFLT | 母线电压滤波后的值, 最高位恒为 0, Q31 格式
取值范围[0,2147483647] |

17.16.4.4 NFOCx_UDCD (0x30000294/0x30010294) (x = 1/2)

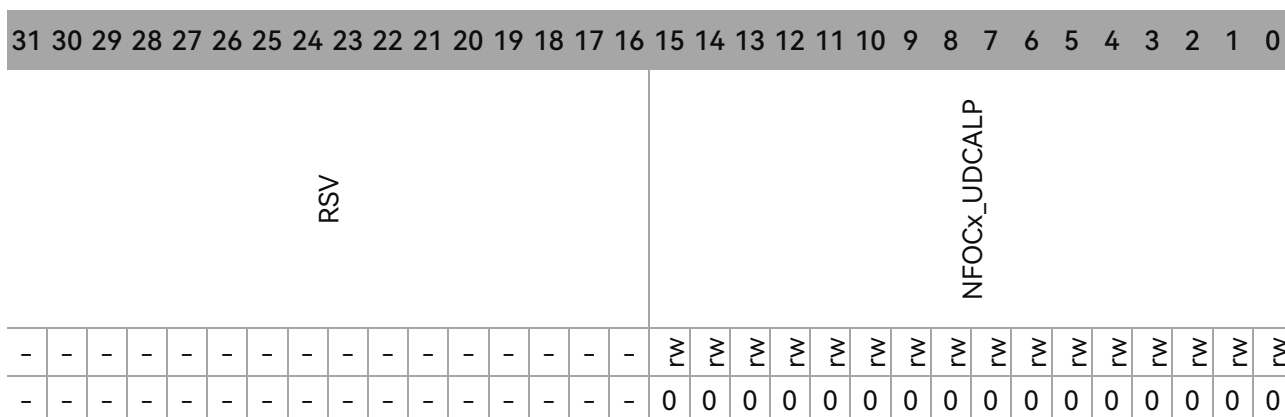


| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCD | d 轴 UDC 值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.5 NFOCx_UDCQ (0x30000296/0x30010296) (x = 1/2)

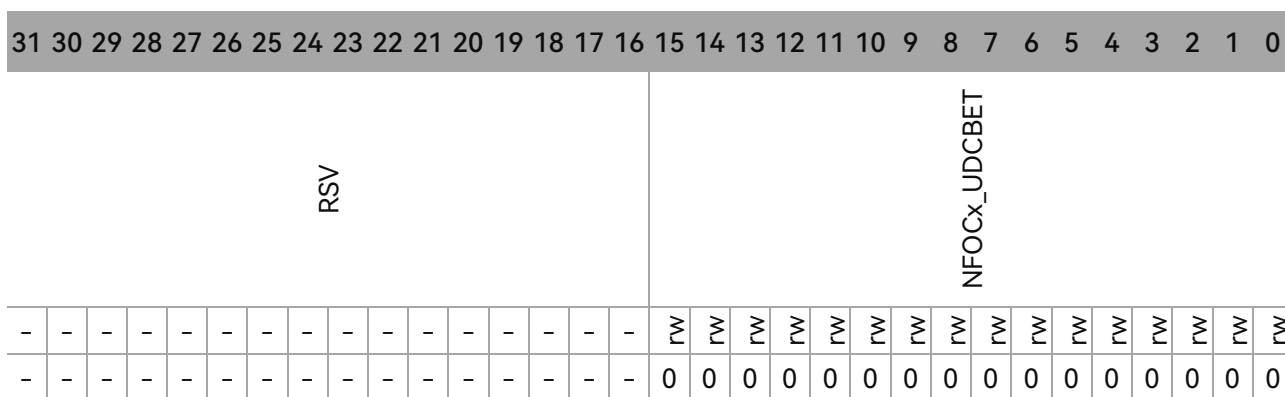


17.16.4.8 NFOCx_UDCALP (0x300000A4/0x300100A4) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCALP | UDC*UALPHA
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.9 NFOCx_UDCBET (0x300000A6/0x300100A6) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCBET | UDC*UBETA
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.10 NFOCx_UALORG (0x30000118/0x30010118) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UALORG | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

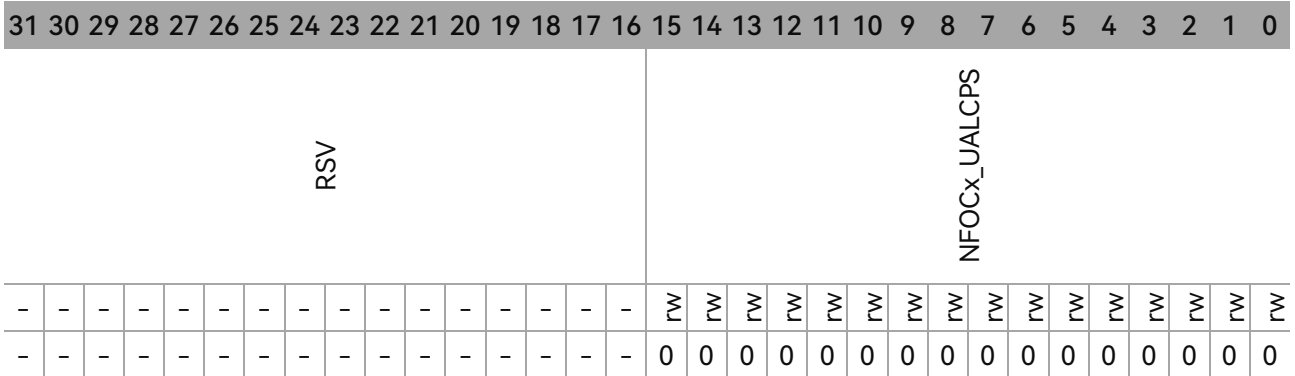
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UALORG | α轴电压
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.11 NFOCx_UBEORG (0x3000011A/0x3001011A) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UBEORG | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

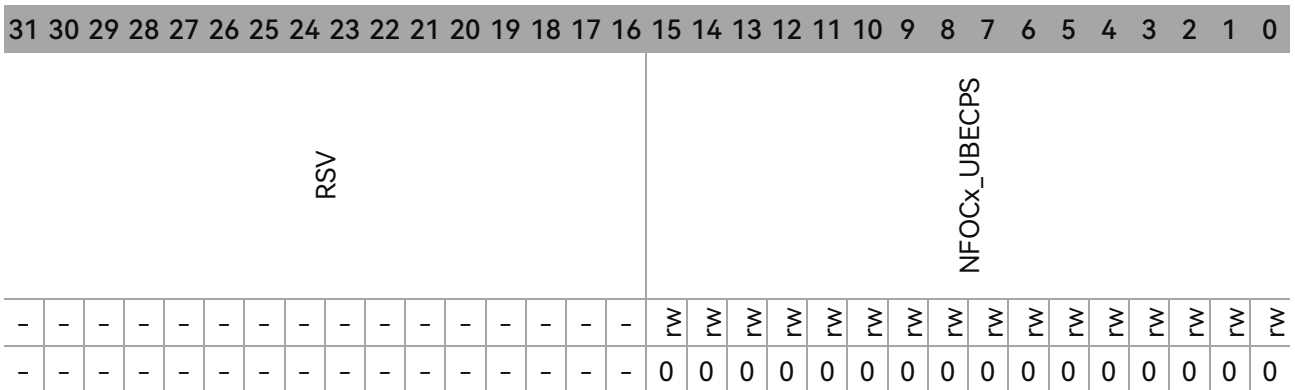
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UBEORG | β轴电压
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.12 NFOCx_UALCPS (0x300001DC/0x300101DC) (x = 1/2)



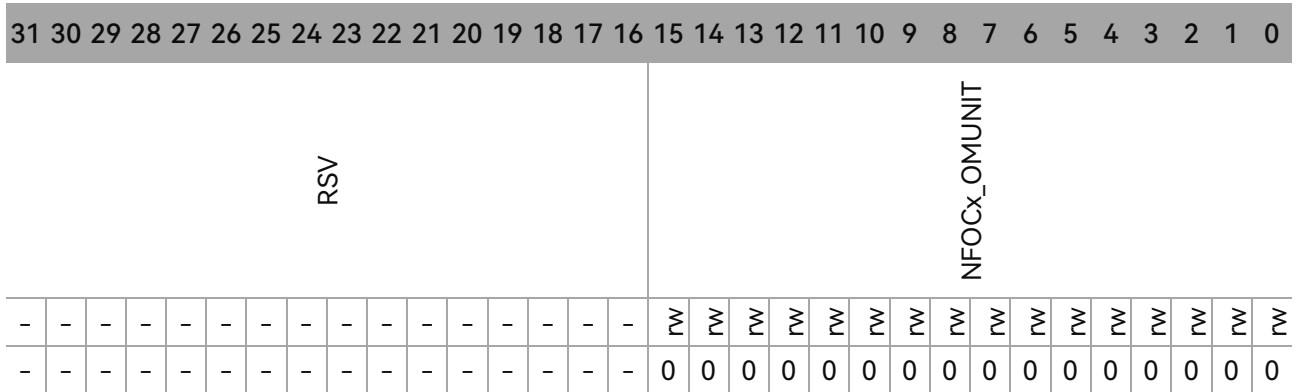
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UALCPS | NFOCx_UALORG 的电压补偿值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.4.13 NFOCx_UBECPS (0x300001DE/0x300101DE) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UBECPS | NFOCx_UBEORG 的电压补偿值
取值范围[-32768,32767] |

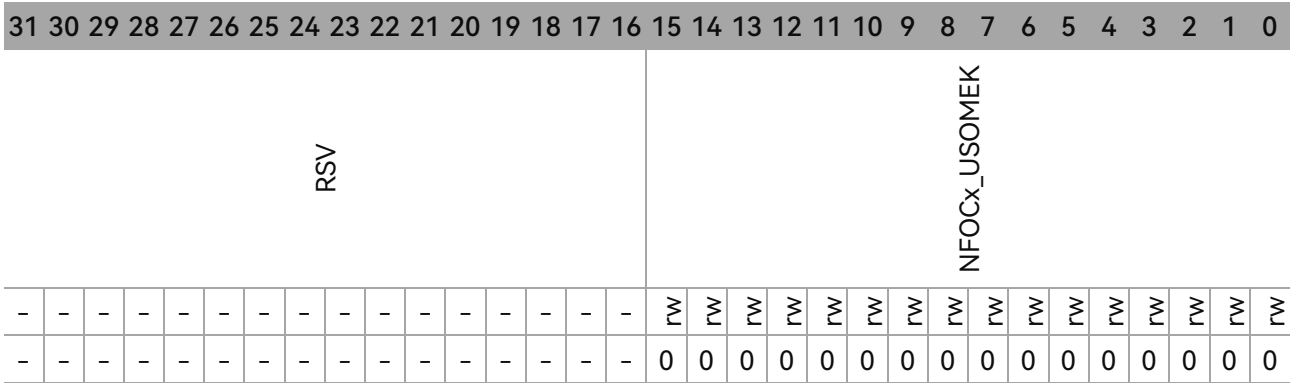
17.16.4.14 NFOCx_OMUNIT (0x3000038C/0x3001038C) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OMUNIT | 过调制放大系数
取值范围[0,32767] |

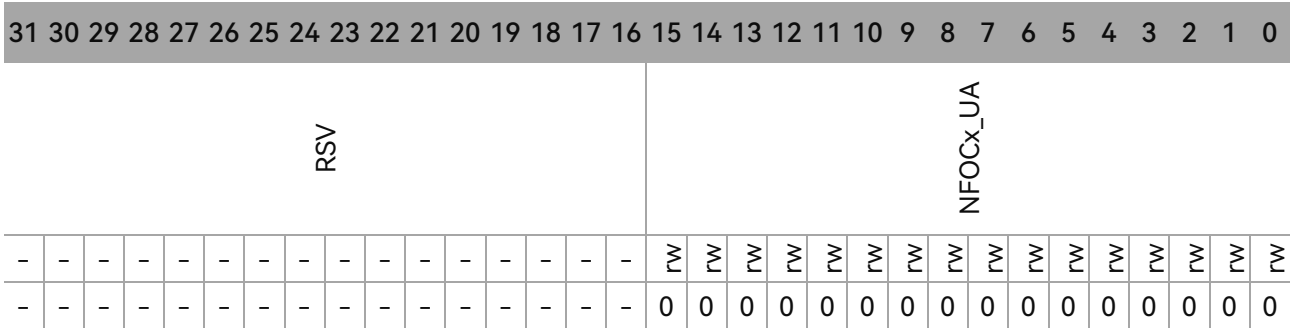
17.16.5 端电压采样寄存器

17.16.5.1 NFOCx_USOMEK (0x3000025C/0x3001025C) (x = 1/2)



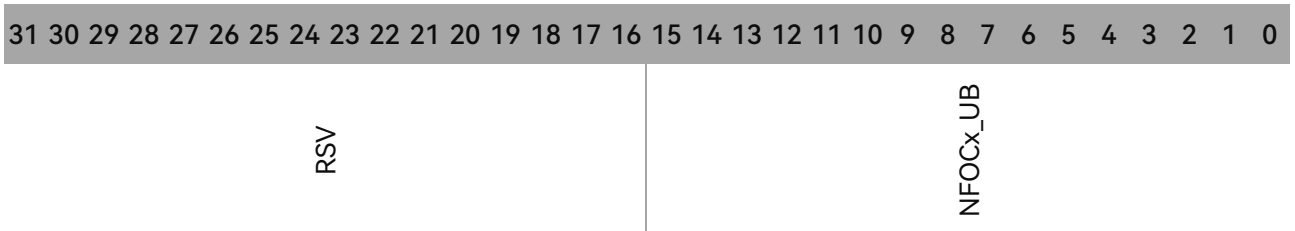
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_USOMEK | 端电压补偿量计算系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.5.2 NFOCx_UA (0x3000025E/0x3001025E) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UA | A 相端电压采样值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.5.3 NFOCx_UB (0x30000260/0x30010260) (x = 1/2)



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UB | B相端电压采样值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.5.4 NFOCx_UC (0x30000262/0x30010262) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

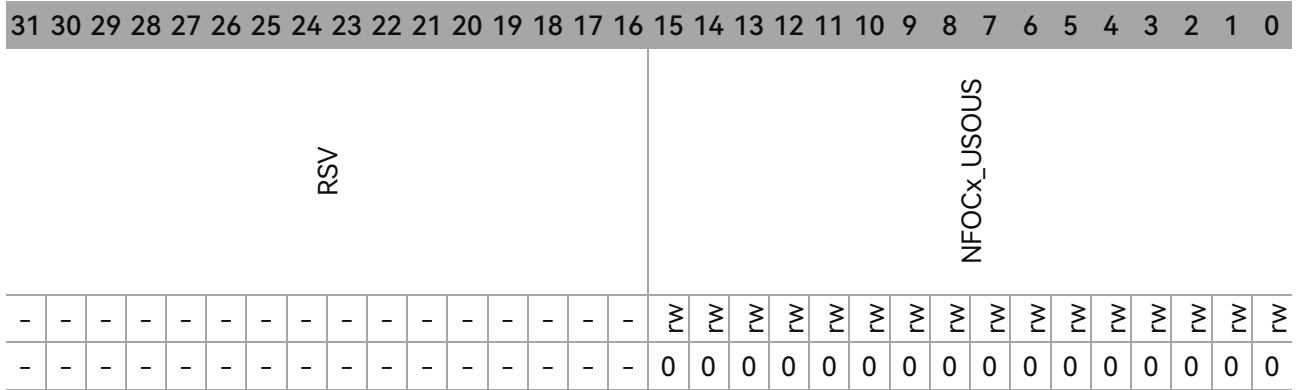
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UC | C相端电压采样值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.5.5 NFOCx_USK (0x30000264/0x30010264) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_USK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_USK | 端电压采样值系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.5.6 NFOCx_USOUS (0x30000266/0x30010266) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_USOUS | 幅值补偿系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6 电流寄存器

17.16.6.1 NFOCx_IA (0x300001C0/0x300101C0) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IA | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|-----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IA | A 相电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.2 NFOCx_IB (0x300001C2/0x300101C2) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IB | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|-----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IB | B 相电流
取值范围[-32768,32767] |

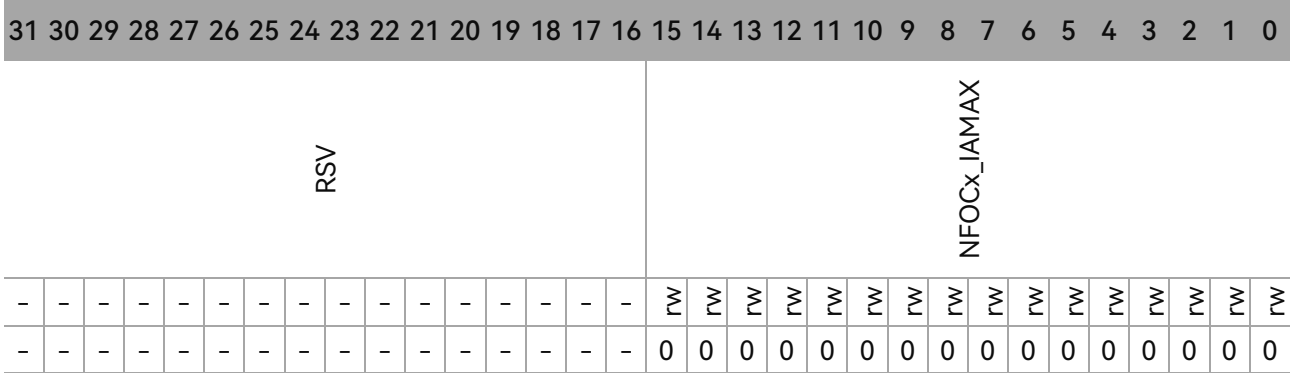
17.16.6.3 NFOCx_IC (0x300001C4/0x300101C4) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IC | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |

- - - - - - - - - - - - - - - - 0

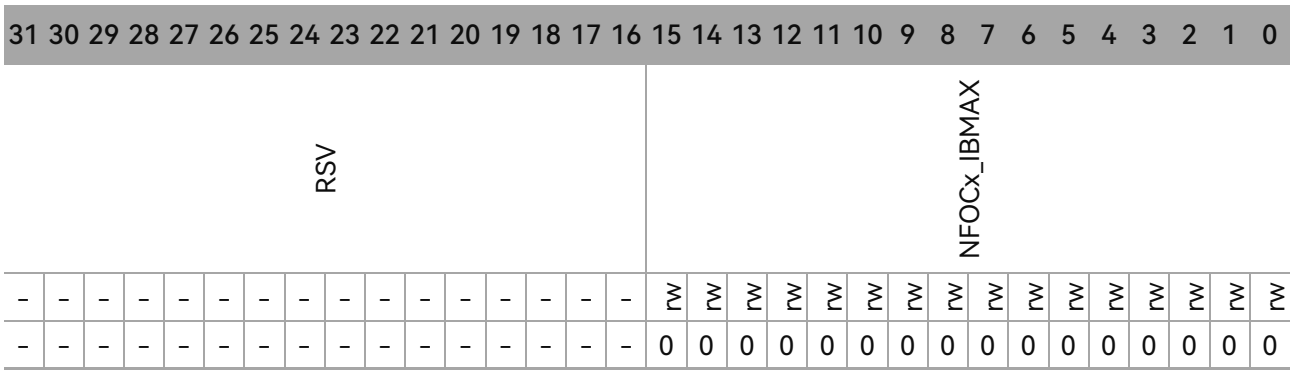
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|-----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IC | C 相电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.4 NFOCx_IAMAX (0x300001C8/0x300101C8) (x = 1/2)



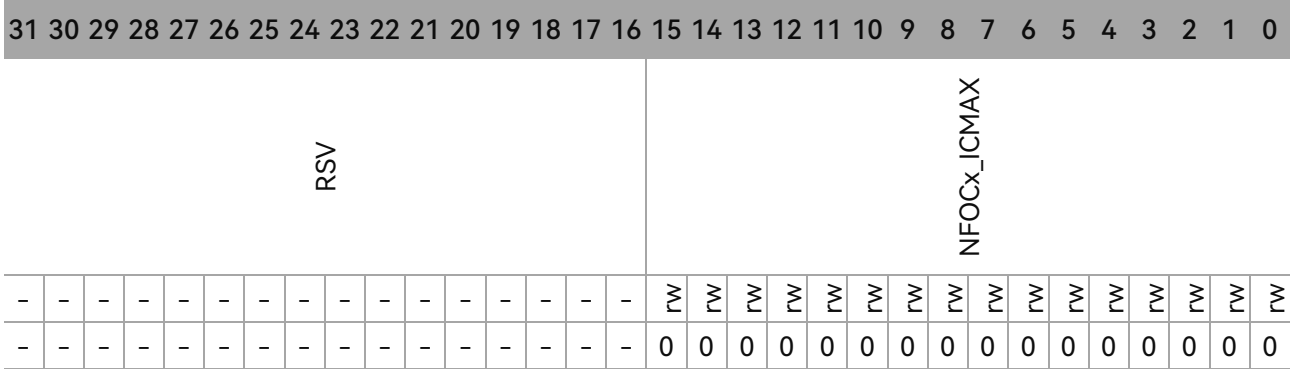
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IAMAX | A 相电流最大值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.5 NFOCx_IBMAX (0x300001CA/0x300101CA) (x = 1/2)



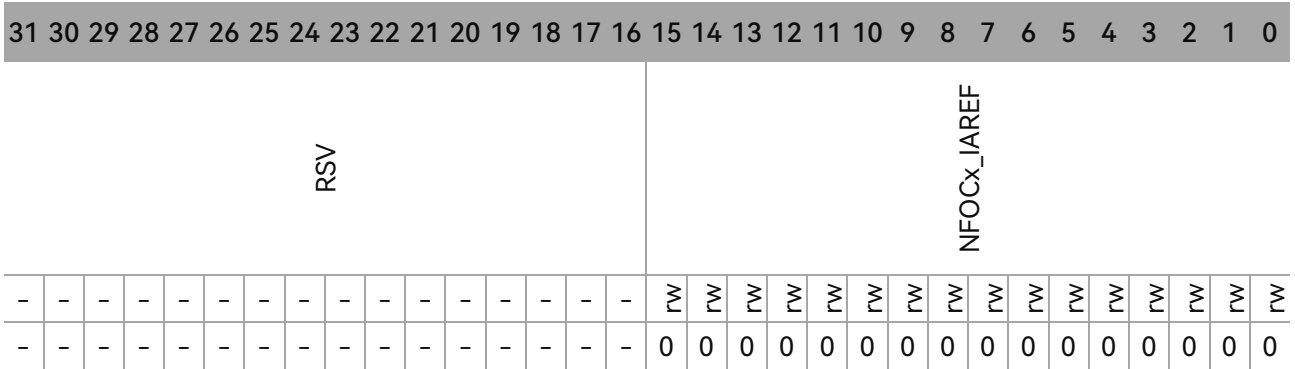
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IBMAX | B 相电流最大值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6 NFOCx_ICMAX (0x300001C6/0x300101C6) (x = 1/2)



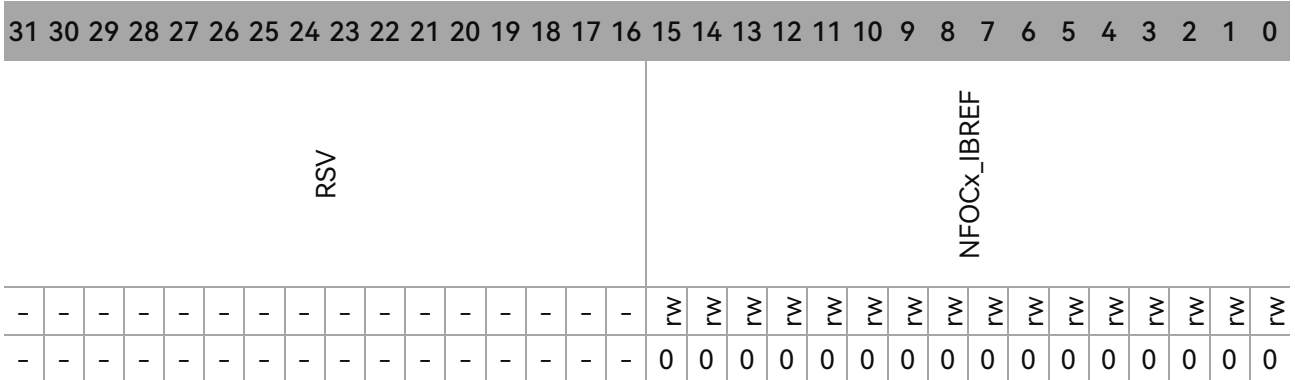
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ICMAX | C相电流最大值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.7 NFOCx_IAREF (0x30000008/0x30010008) (x = 1/2)



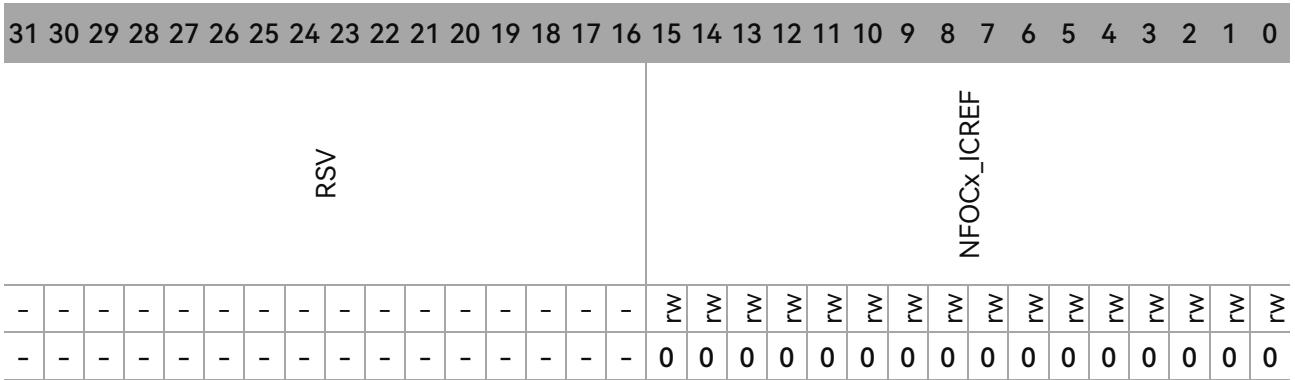
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IAREF | A相电流基准
取值范围[0,32767]
例：A相电流 ADC 的电压范围 0V ~ 5V，偏置为 2.5V，则 NFOCx_IAREF = 2.5V/5V*32768 = 16384(CSR:0x4000) |

17.16.6.8 NFOCx_IBREF (0x3000000A/0x3001000A) (x = 1/2)



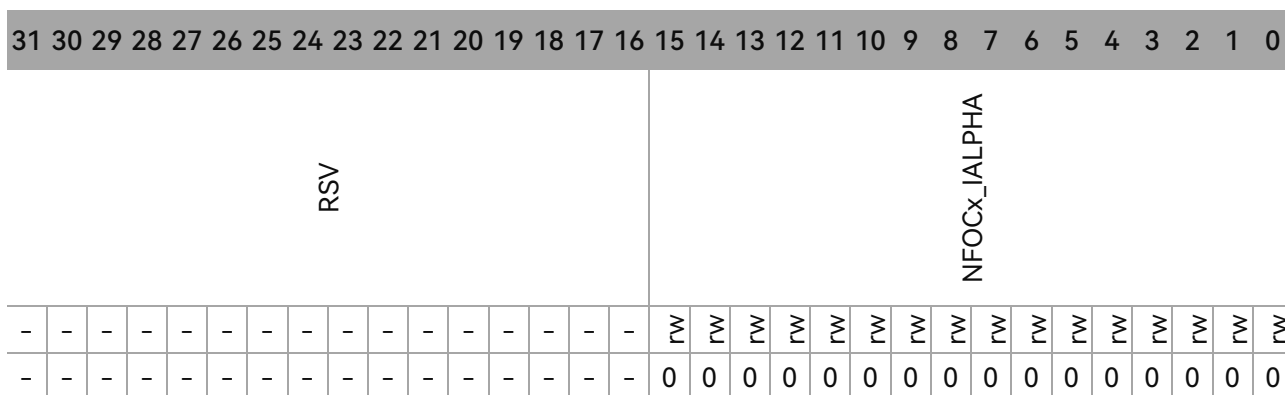
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IBREF | B 相电流基准
取值范围[0,32767]
例: B 相电流 ADC 的电压范围 0V ~ 5V, 偏置为 2.5V, 则 NFOCx_IBREF = 2.5V/5V*32768 = 16384(CSR:0x4000) |

17.16.6.9 NFOCx_ICREF (0x3000000C/0x3001000C) (x = 1/2)



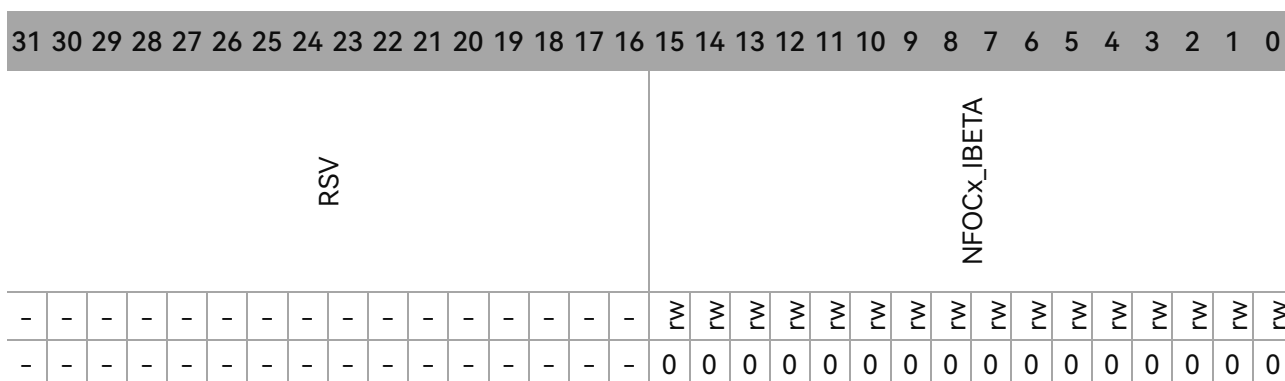
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ICREF | C 相电流基准
取值范围[0,32767]
例: C 相电流 ADC 的电压范围 0V ~ 5V, 偏置为 2.5V, 则 NFOCx_ICREF = 2.5V/5V*32768 = 16384(CSR:0x4000) |

17.16.6.10 NFOCx_IALPHA (0x30000134/0x30010134) (x = 1/2)



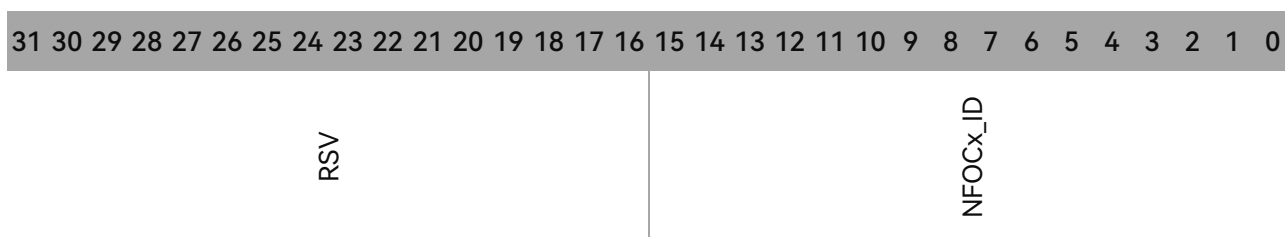
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IALPHA | α轴电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.11 NFOCx_IBETA (0x30000136/0x30010136) (x = 1/2)

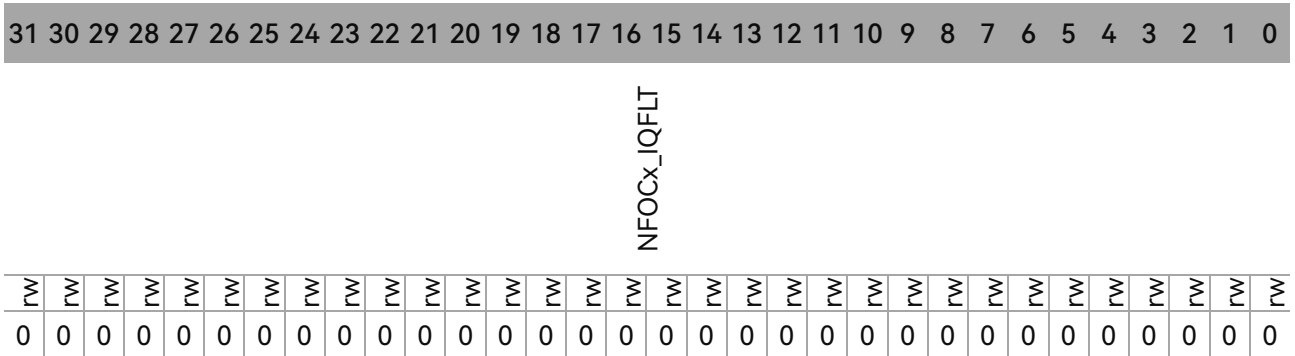


| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IBETA | β轴电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.12 NFOCx_ID (0x30000138/0x30010138) (x = 1/2)

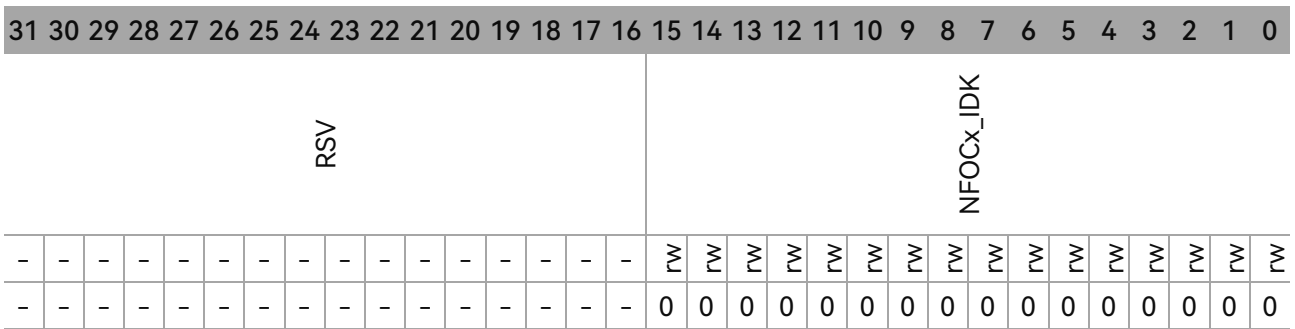


17.16.6.15 NFOCx_IQFLT (0x30000154/0x30010154) (x = 1/2)



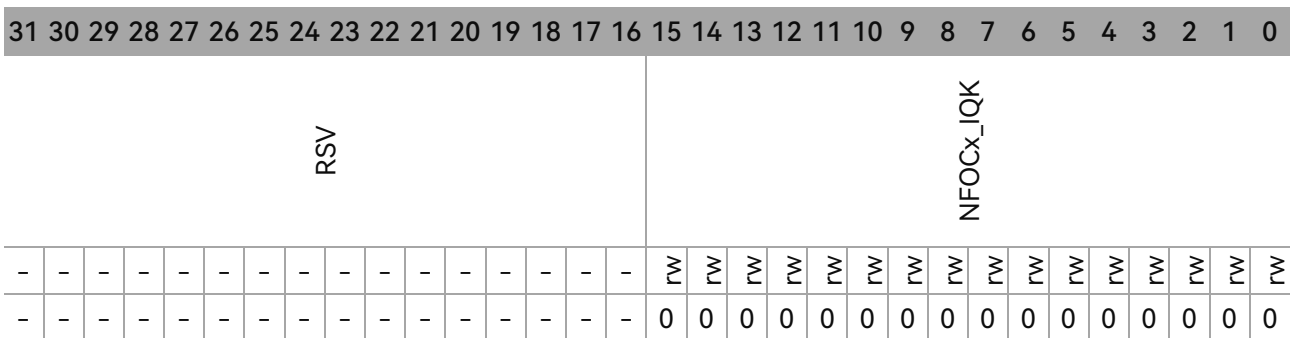
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|--|
| [31:0] | NFOCx_IQFLT | IQ 滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.6.16 NFOCx_IDK (0x30000284/0x30010284) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IDK | ID 滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.17 NFOCx_IQK (0x30000286/0x30010286) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IQK | IQ 滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.18 NFOCx_IESTA (0x30000208/0x30010208) (x = 1/2)

| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IESTA | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IESTA | α轴估算电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.6.19 NFOCx_IESTB (0x3000020A/0x3001020A) (x = 1/2)

| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IESTB | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IESTB | β轴估算电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.7 ITRIP 与功率寄存器

17.16.7.1 NFOCx_IS (0x300003EC/0x300103EC) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IS | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

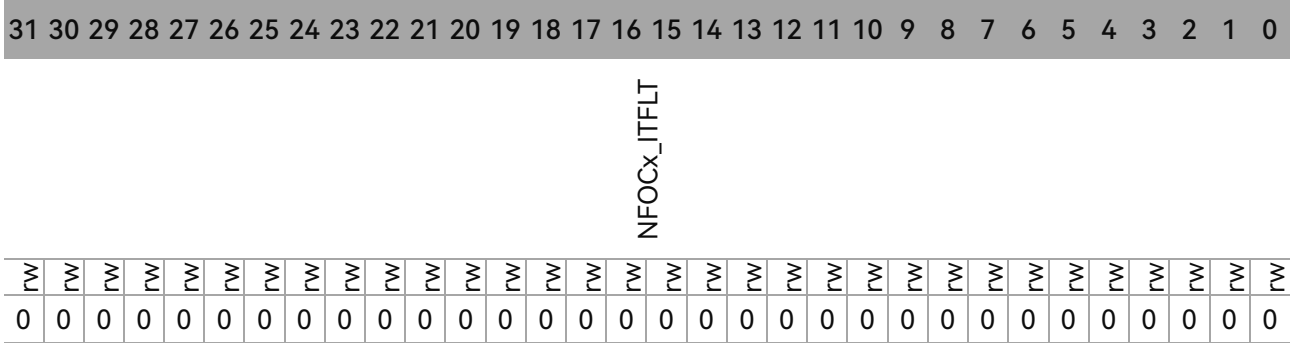
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IS | NFOCx_IALPHA 和 NFOCx_IBETA 计算的幅值（平方根）
取值范围[0,32767] |

17.16.7.2 NFOCx_ITREF (0x3000000E/0x3001000E) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_ITREF | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | ⌘ | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

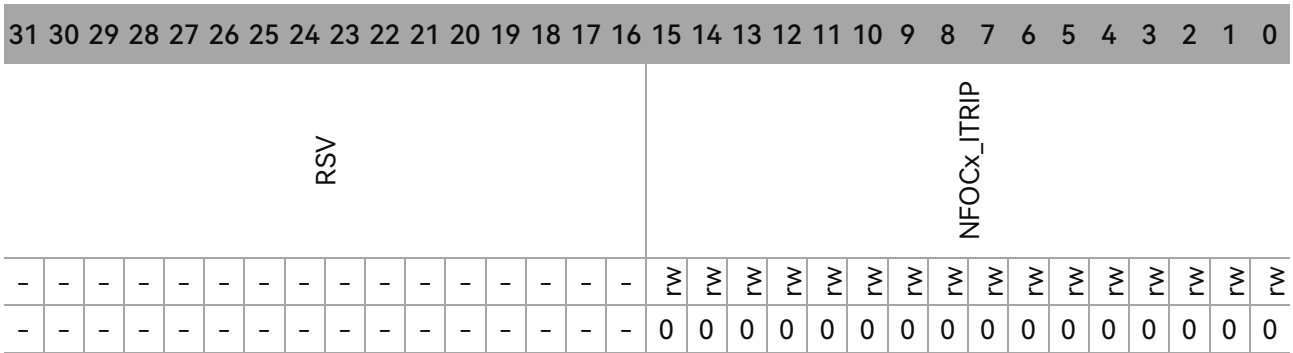
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ITREF | 母线电流基准
取值范围[0,32767]
例：母线电流 ADC 的电压范围 0V ~ 5V，偏置为 2.5V，则 NFOCx_ITREF = 2.5V/5V*32768 = 16384(CSR:0x4000) |

17.16.7.3 NFOCx_ITFLT (0x300000D4/0x300100D4) (x = 1/2)



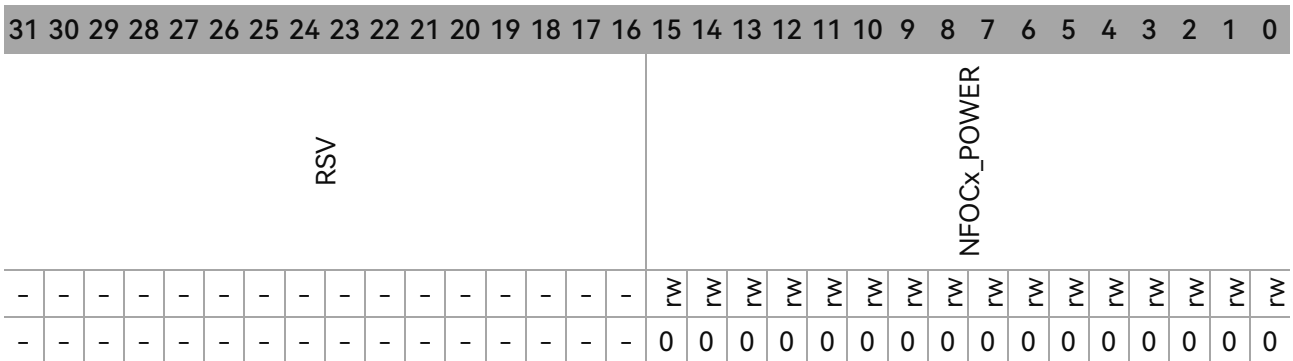
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|---|
| [31:0] | NFOCx_ITFLT | NFOCx_ITRIP 滤波后的值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.7.4 NFOCx_ITRIP (0x300000D8/0x300100D8) (x = 1/2)



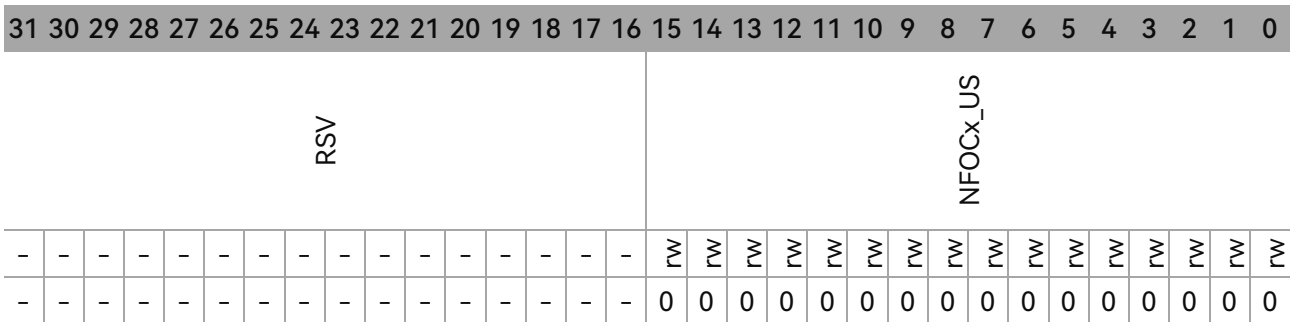
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ITRIP | 采样母线电流，用于功率计算
取值范围[-32768,32767] |

17.16.7.5 NFOCx_POWER (0x300000DA/0x300100DA) (x = 1/2)



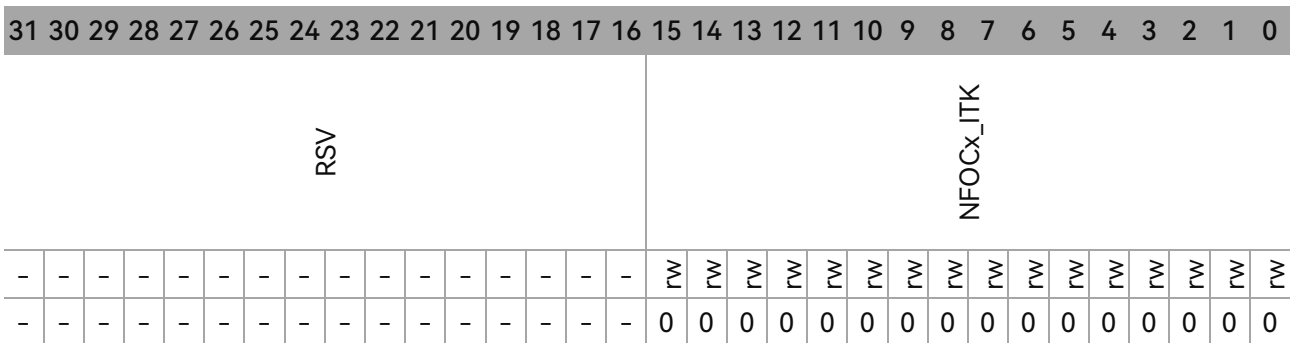
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_POWER | 功率值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.7.6 NFOCx_US (0x300000DC/0x300100DC) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_US | NFOCx_UALPHA 和 NFOCx_UBETA 计算的幅值（平方根）
取值范围[0,32767] |

17.16.7.7 NFOCx_ITK (0x300001D4/0x300101D4) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ITK | itrip 滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.7.8 NFOCx_POWK1 (0x300001D6/0x300101D6) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_POWK1 | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|---------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_POWK1 | 功率计算滤波系数 1
取值范围[0,255] |

17.16.7.9 NFOCx_POWK2 (0x300001D7/0x300101D7) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_POWK2 | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|---------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_POWK2 | 功率计算滤波系数 2
取值范围[0,255] |

17.16.8 D 轴寄存器

17.16.8.1 NFOCx_DKP (0x30000100/0x30010100) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_DKP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_DKP | d 轴电流 PI KP 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.8.2 NFOCx_DKI (0x30000102/0x30010102) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_DKI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |

| | | |
|--------|-----------|---------------------------------|
| [13:0] | NFOCx_DKI | d 轴电流 PI KI 参数
取值范围[0,16383] |
|--------|-----------|---------------------------------|

17.16.8.3 NFOCx_DMAX (0x30000104/0x30010104) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_DMAX | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

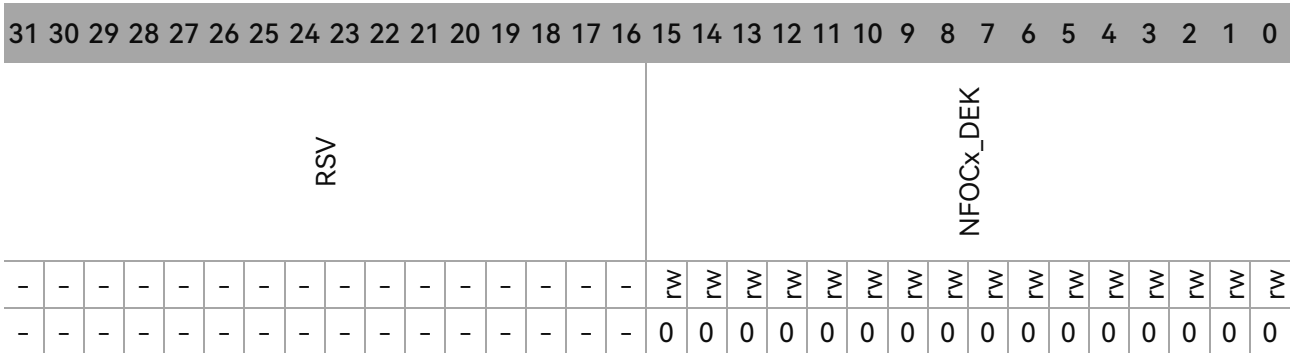
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DMAX | d 轴电流 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.4 NFOCx_DMIN (0x30000106/0x30010106) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_DMIN | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

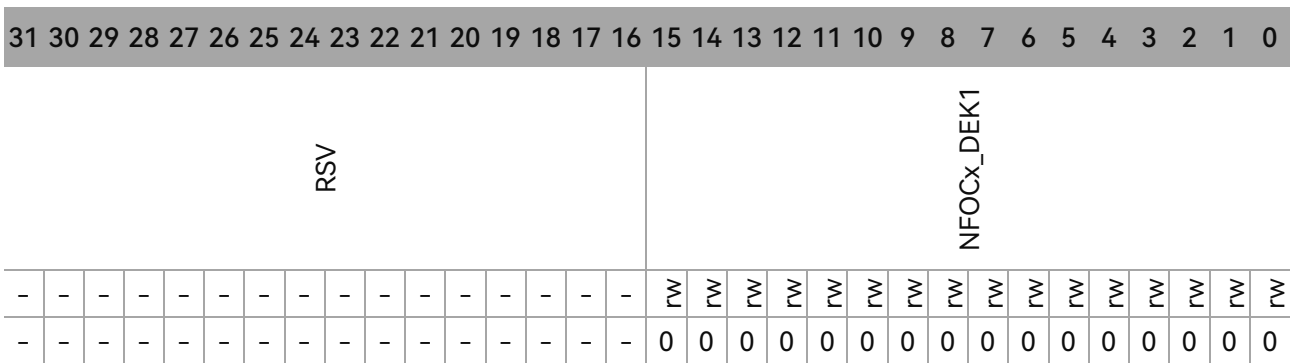
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DMIN | d 轴电流 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.5 NFOCx_DEK (0x30000108/0x30010108) (x = 1/2)



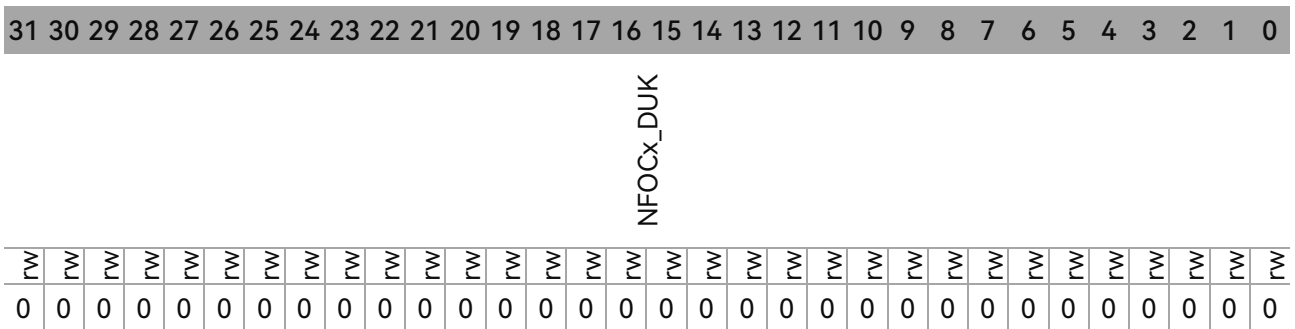
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DEK | d 轴电流 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.6 NFOCx_DEK1 (0x3000010A/0x3001010A) (x = 1/2)



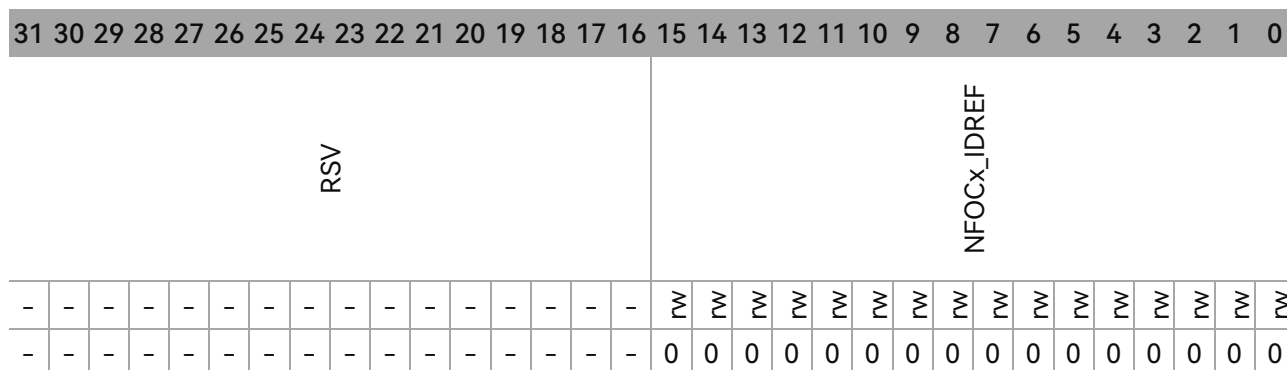
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DEK1 | d 轴电流 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.7 NFOCx_DUK (0x3000010C/0x3001010C) (x = 1/2)



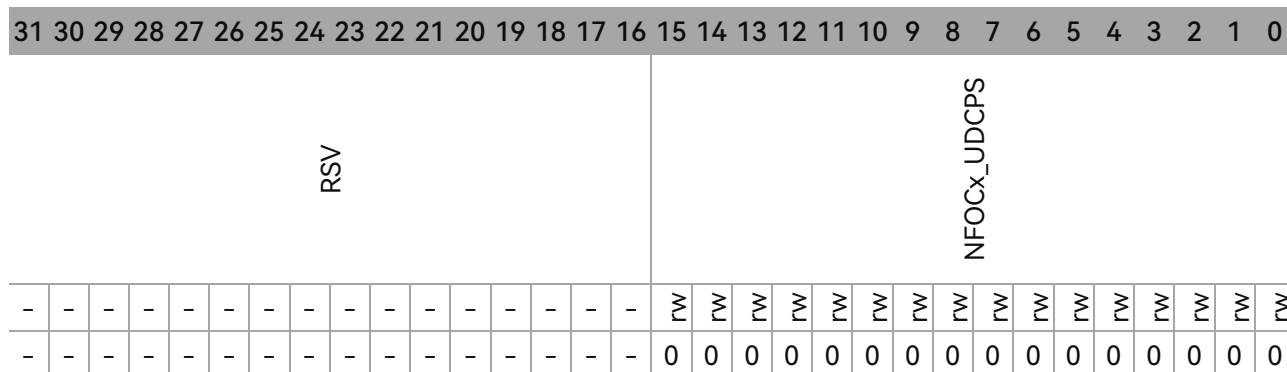
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-----------|---|
| [31:0] | NFOCx_DUK | d 轴电流 PI 输出
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.8.8 NFOCx_IDREF (0x300001B8/0x300101B8) (x = 1/2)



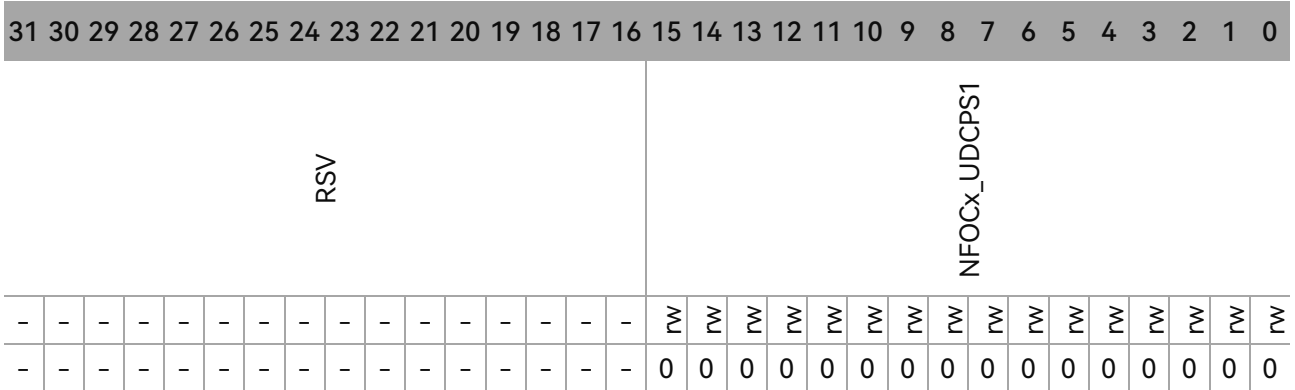
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IDREF | 给定 d 轴电流值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.9 NFOCx_UDCPS (0x300001CC/0x300101CC) (x = 1/2)



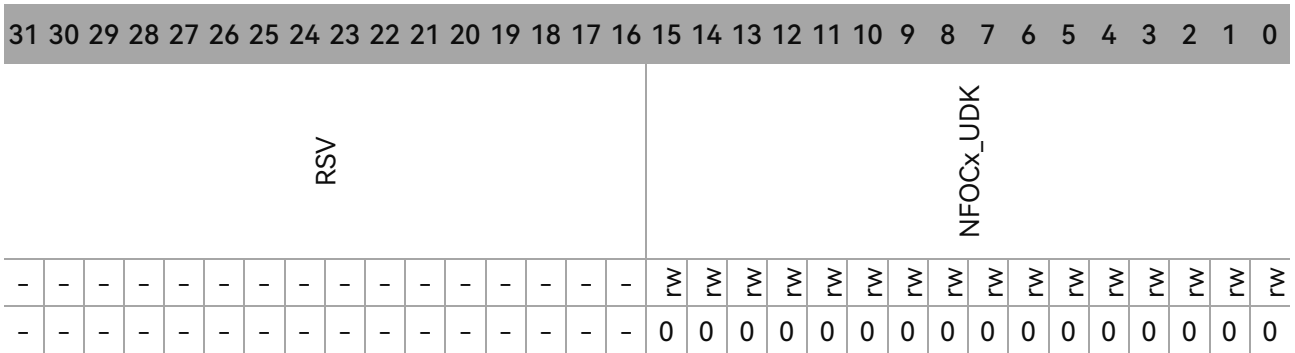
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCPS | d 轴的电压补偿值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.10 NFOCx_UDCPS1 (0x300003FC/0x300103FC) (x = 1/2)



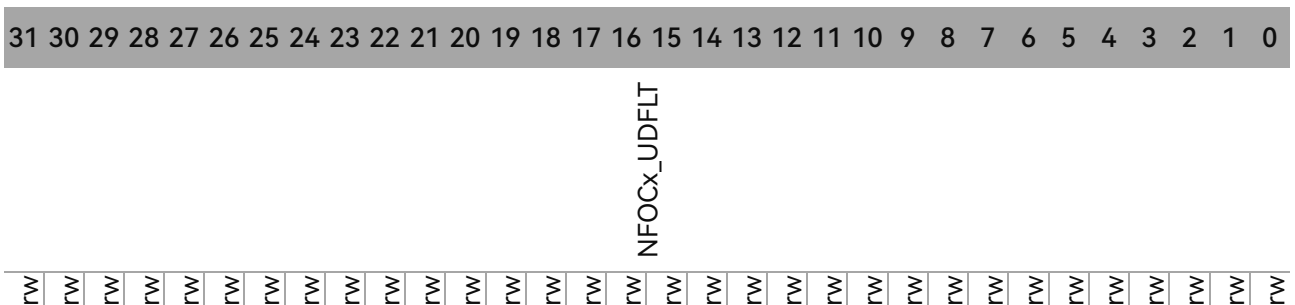
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCPS1 | d 轴的电压补偿值 1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.8.11 NFOCx_UDK (0x30000370/0x30010370) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDK | UD 滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

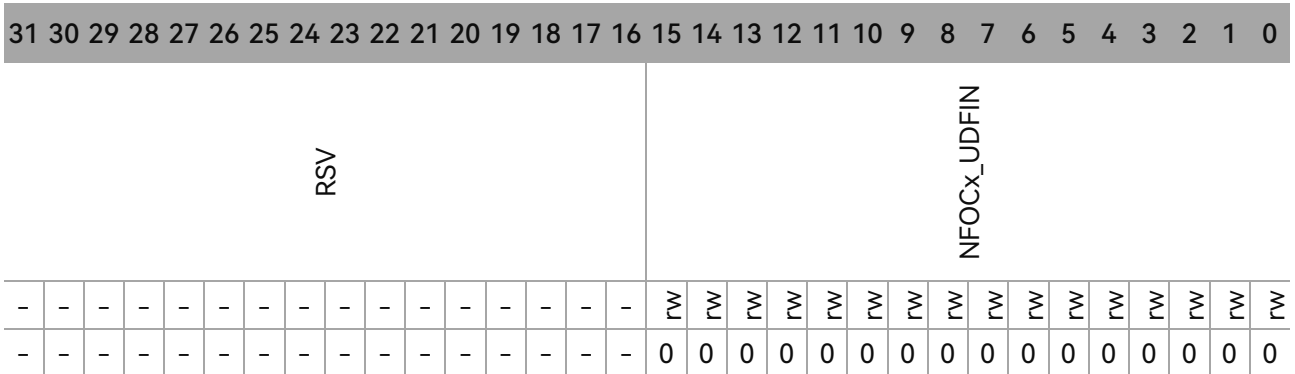
17.16.8.12 NFOCx_UDFLT (0x30000374/0x30010374)



0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|--|
| [31:0] | NFOCx_UDFLT | UD 滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.8.13 NFOCx_UDFIN (0x3000021C/0x3001021C) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDFIN | UD 最终值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9 Q 轴寄存器

17.16.9.1 NFOCx_QKP (0x30000120/0x30010120) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_QKP | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_QKP | q 轴电流 PI KP 参数
取值范围[0,16383] |

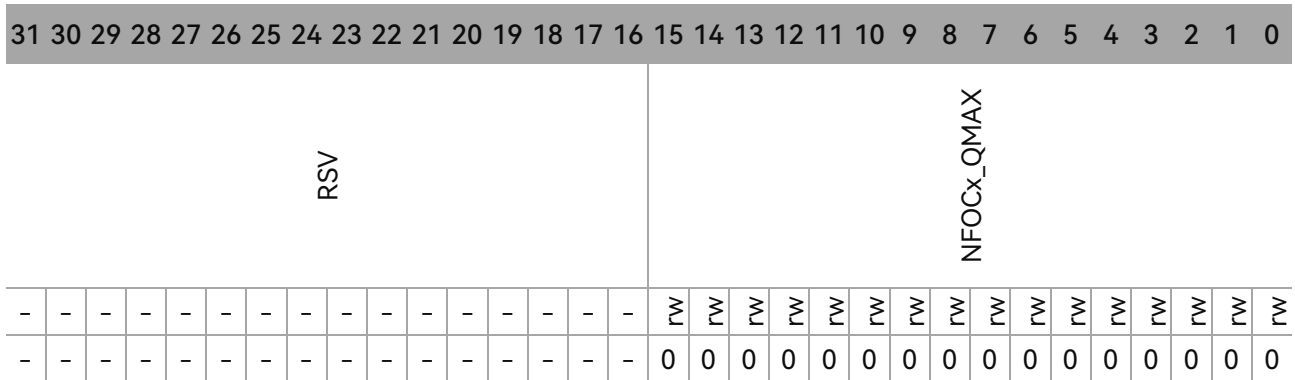
17.16.9.2 NFOCx_QKI (0x30000122/0x30010122) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_QKI | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式 |

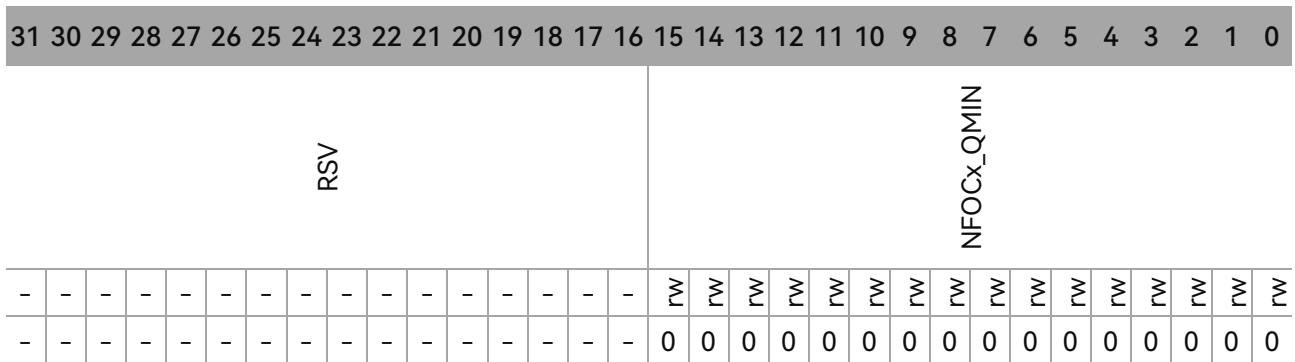
| | | |
|--------|-----------|---------------------------------|
| | | 11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_QKI | q 轴电流 PI KI 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.9.3 NFOCx_QMAX (0x30000124/0x30010124) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_QMAX | q 轴电流 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.4 NFOCx_QMIN (0x30000126/0x30010126) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_QMIN | q 轴电流 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.5 NFOCx_QEK (0x30000128/0x30010128) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_QEK | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_QEK | q 轴电流 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.6 NFOCx_QEK1 (0x3000012A/0x3001012A) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_QEK1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

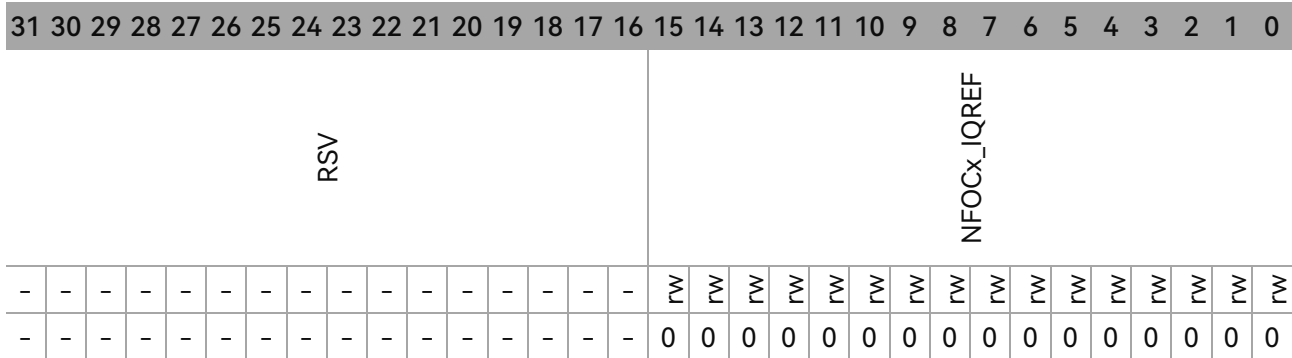
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_QEK1 | q 轴电流 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.7 NFOCx_QUK (0x3000012C/0x3001012C) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| NFOCx_QUK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

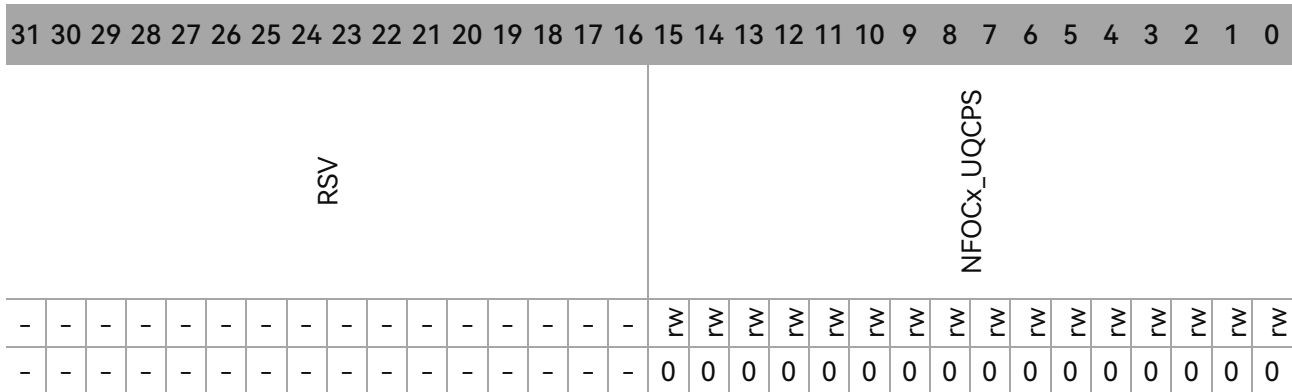
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-----------|---|
| [31:0] | NFOCx_QUK | q 轴电流 PI 输出
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.9.8 NFOCx_IQREF (0x300001BA/0x300101BA) (x = 1/2)



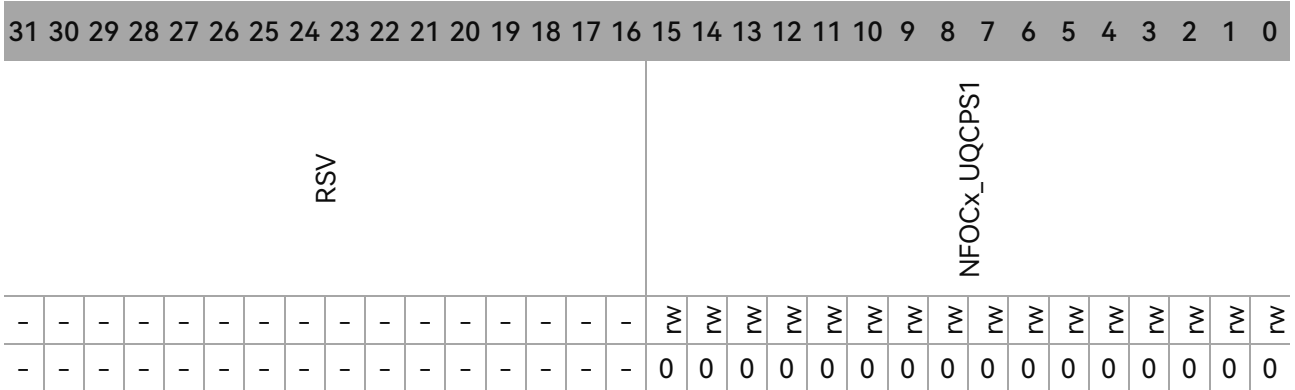
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IQREF | 给定 q 轴电流值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.9 NFOCx_UQCPS (0x300001CE/0x300101CE) (x = 1/2)



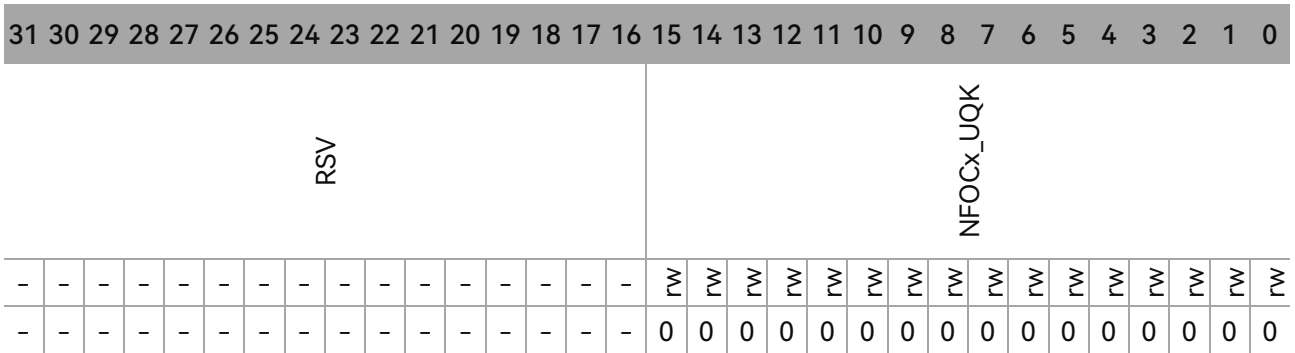
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UQCPS | q 轴的电压补偿值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.10 NFOCx_UQCPS1 (0x300003FE/0x300103FE) (x = 1/2)



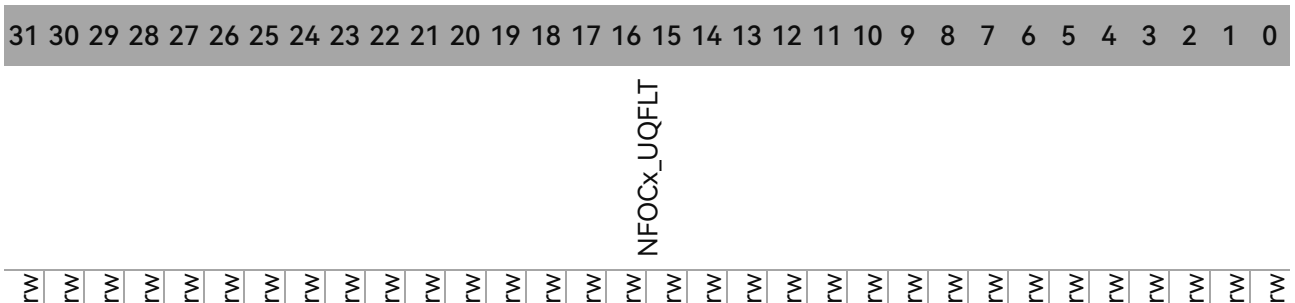
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UQCPS1 | q 轴的电压补偿值 1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.9.11 NFOCx_UQK (0x30000372/0x30010372) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UQK | UQ 滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

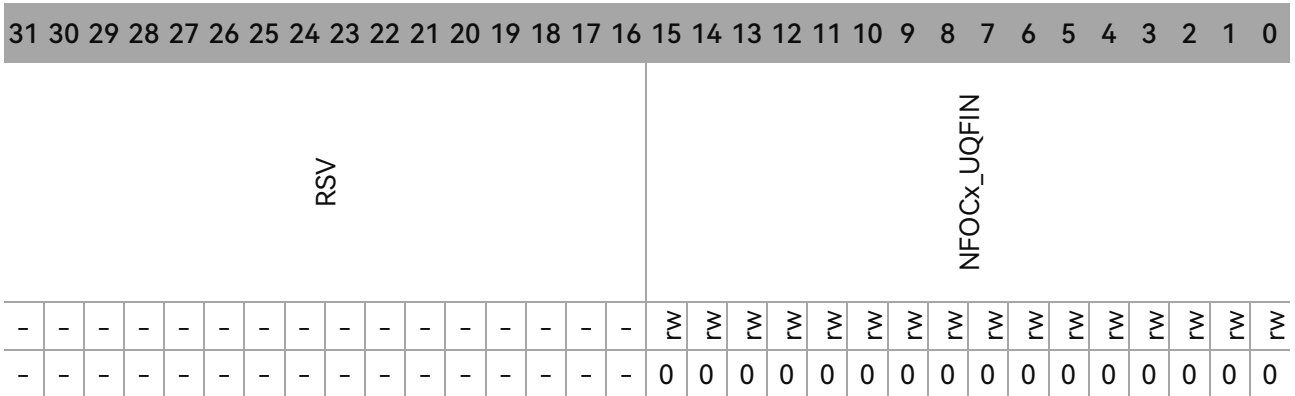
17.16.9.12 NFOCx_UQFLT (0x30000378/0x30010378) (x = 1/2)



0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|--|
| [31:0] | NFOCx_UQFLT | UQ 滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.9.13 NFOCx_UQFIN (0x3000021E/0x3001021E) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UQFIN | UQ 最终值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10 弱磁寄存器

17.16.10.1 NFOCx_FWKP (0x30000180/0x30010180) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_FWKP | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数格式选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_FWKP | 弱磁 PI 的 KP 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.10.2 NFOCx_FWKI (0x30000182/0x30010182) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_FWKI | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数格式选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式 |

| | | |
|--------|------------|--------------------------------|
| | | 11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_FWKI | 弱磁 PI 的 KI 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.10.3 NFOCx_FWMAX (0x30000184/0x30010184) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_FWMAX | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

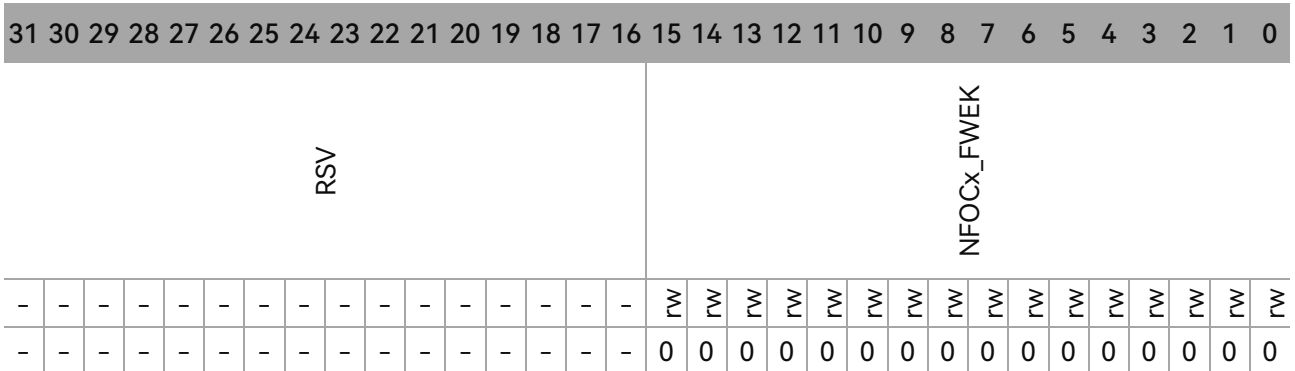
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWMAX | 弱磁 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.4 NFOCx_FWMIN (0x30000186/0x30010186) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_FWMIN | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

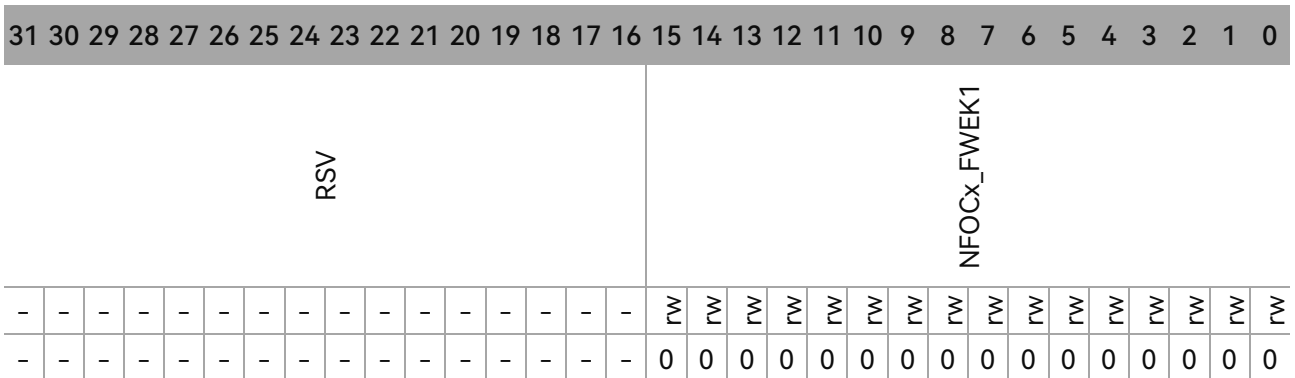
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWMIN | 弱磁 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.5 NFOCx_FWEK (0x30000188/0x30010188) (x = 1/2)



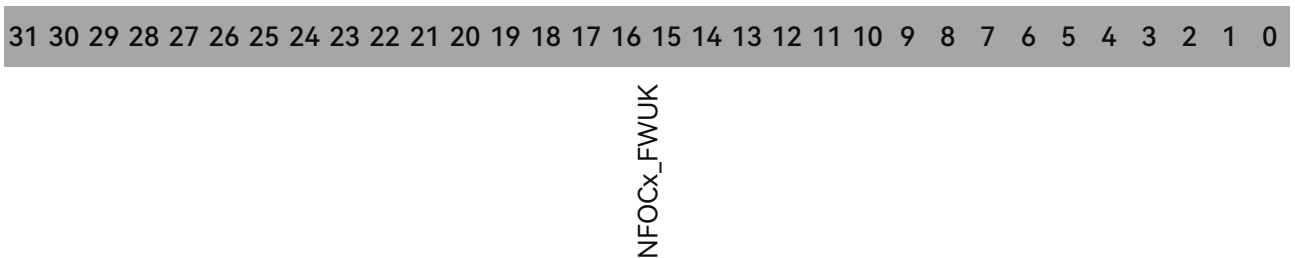
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWEK | 弱磁 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

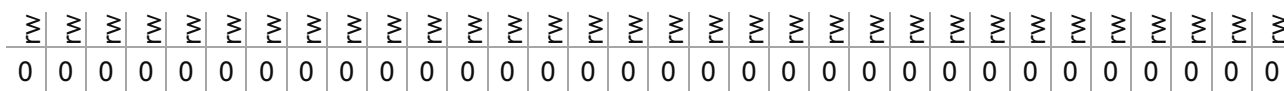
17.16.10.6 NFOCx_FWEK1 (0x3000018A/0x3001018A) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWEK1 | 弱磁 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

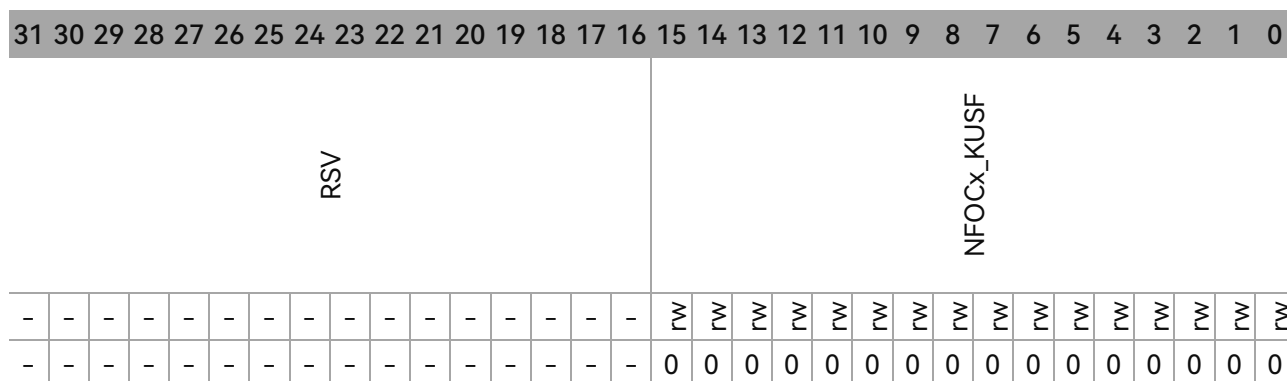
17.16.10.7 NFOCx_FWUK (0x3000018C/0x3001018C) (x = 1/2)





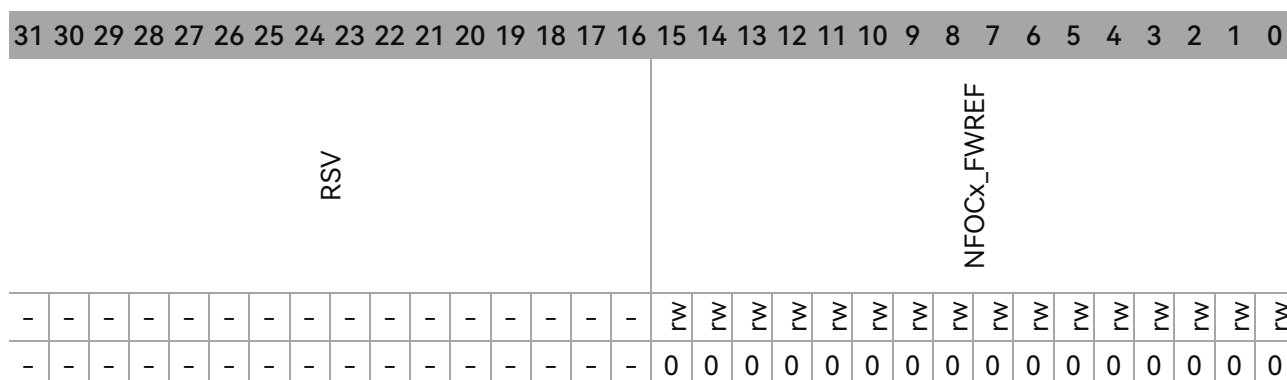
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------------|--|
| [31:0] | NFOCx_FWUK | 弱磁 PI 输出
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.10.8 NFOCx_KUSF (0x30000192/0x30010192) (x = 1/2)



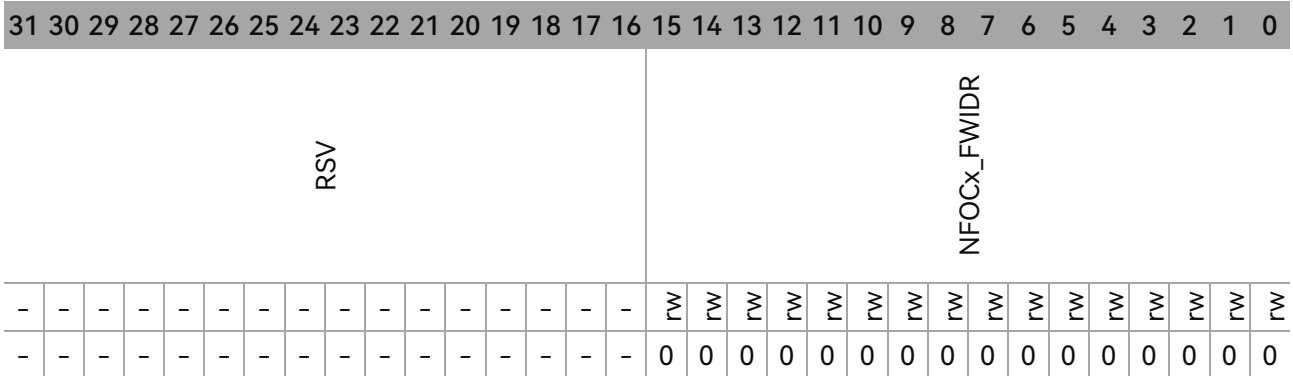
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|--------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_KUSF | 弱磁计算中 US 的滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.9 NFOCx_FWREF (0x30000274/0x30010274) (x = 1/2)



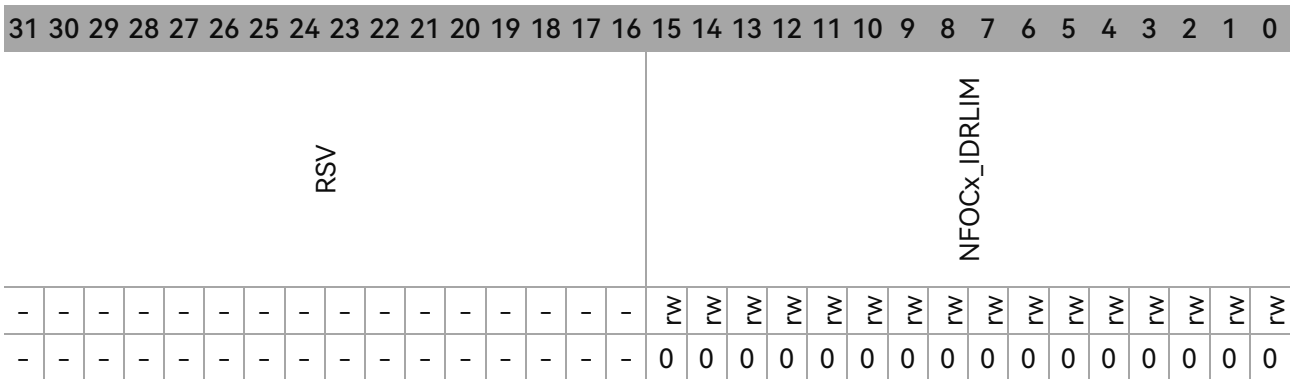
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWREF | 弱磁 PI 给定值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.10 NFOCx_FWIDR (0x3000037C/0x3001037C) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FWIDR | 弱磁计算模式 MOD1 时弱磁的输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.11 NFOCx_IDRLIM (0x300003B6/0x300103B6) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IDRLIM | 弱磁计算中 NFOCx_IDREF 的限幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.10.12 NFOCx_USFLT (0x300003F0/0x300103F0) (x = 1/2)

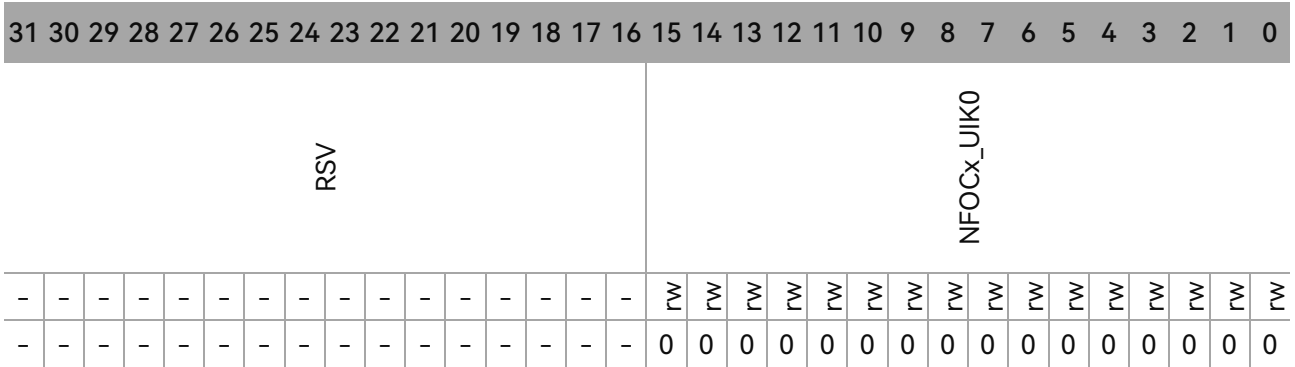


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|--|
| [31:0] | NFOCx_USFLT | NFOCx_US 滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

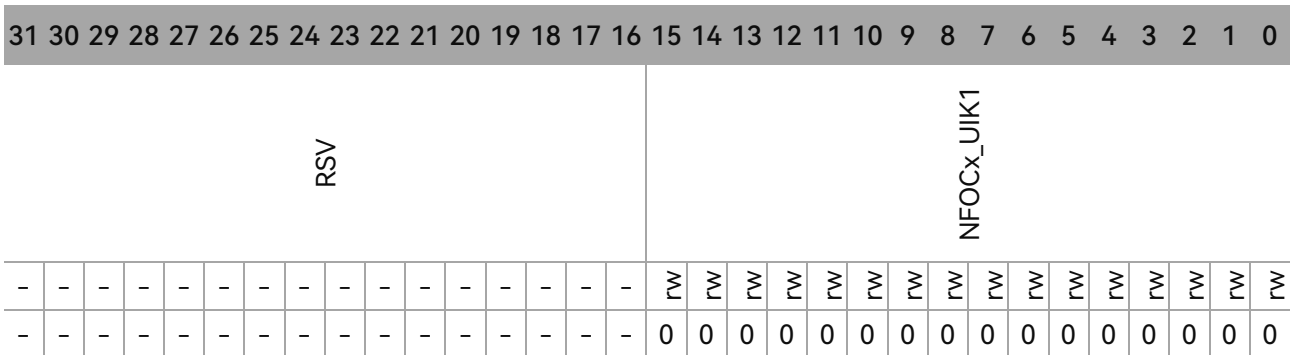
17.16.11 UQ 注入寄存器

17.16.11.1 NFOCx_UIK0 (0x30000238/0x30010238) (x = 1/2)



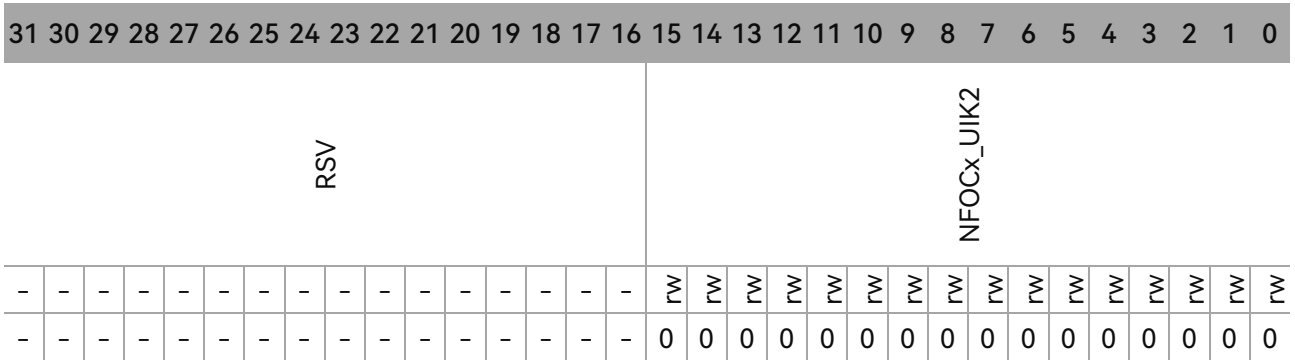
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIK0 | UQ 补偿的倍频系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.2 NFOCx_UIK1 (0x3000023A/0x3001023A) (x = 1/2)



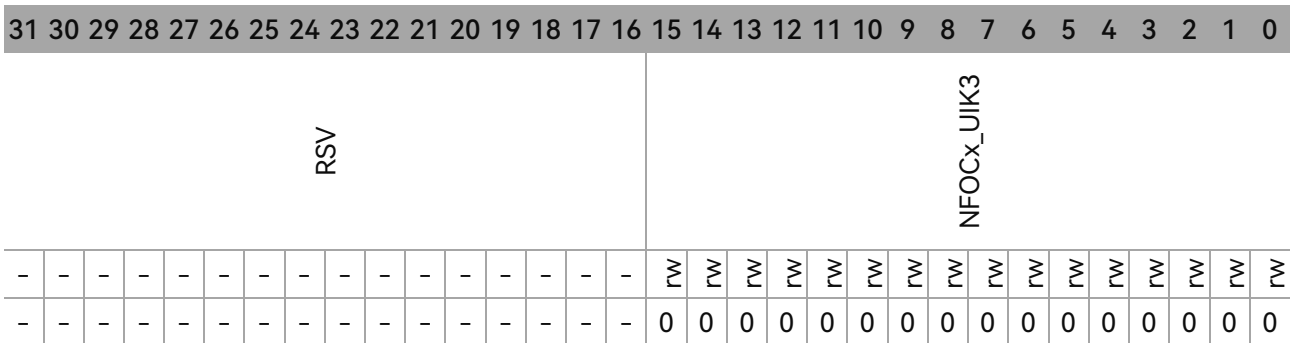
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIK1 | UQ 补偿的倍频系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.3 NFOCx_UIK2 (0x3000023C/0x3001023C) (x = 1/2)



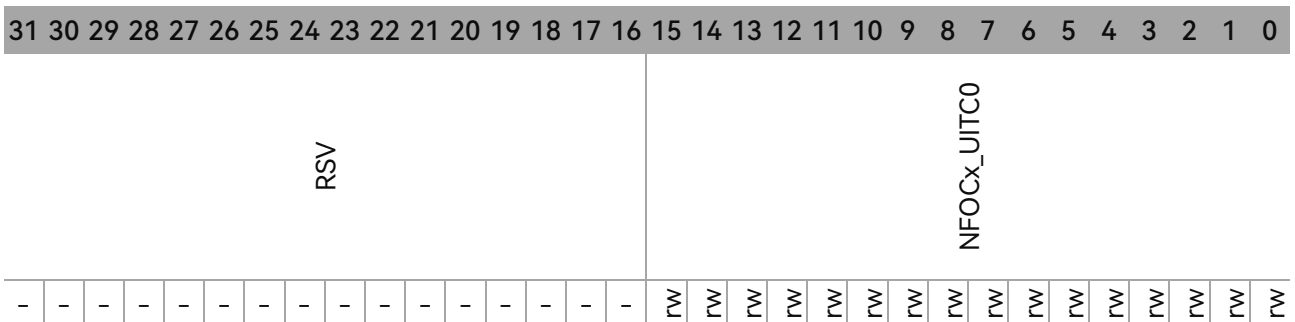
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIK2 | UQ 补偿的倍频系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.4 NFOCx_UIK3 (0x3000023E/0x3001023E) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIK3 | UQ 补偿的倍频系数
取值范围[-32768,32767] |

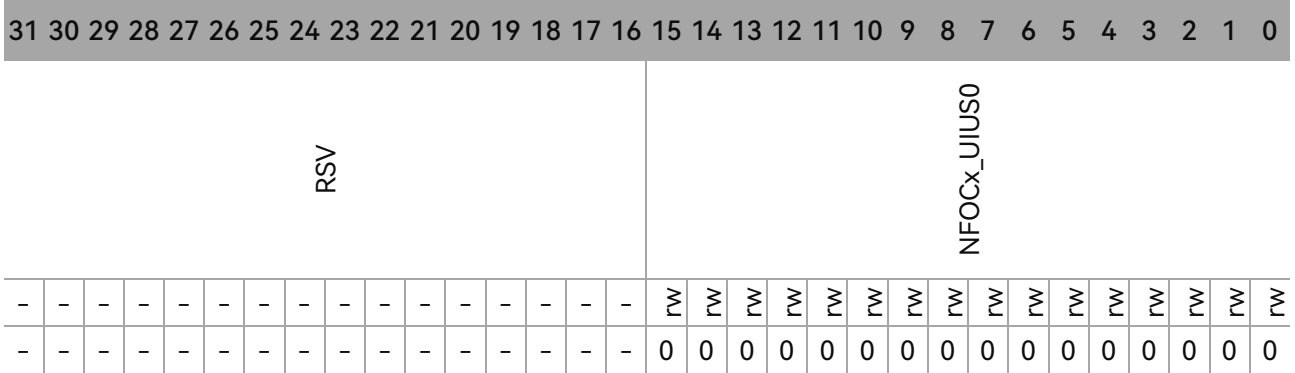
17.16.11.5 NFOCx_UITC0 (0x30000240/0x30010240) (x = 1/2)



- - - - - - - - - - - - - - - - 0

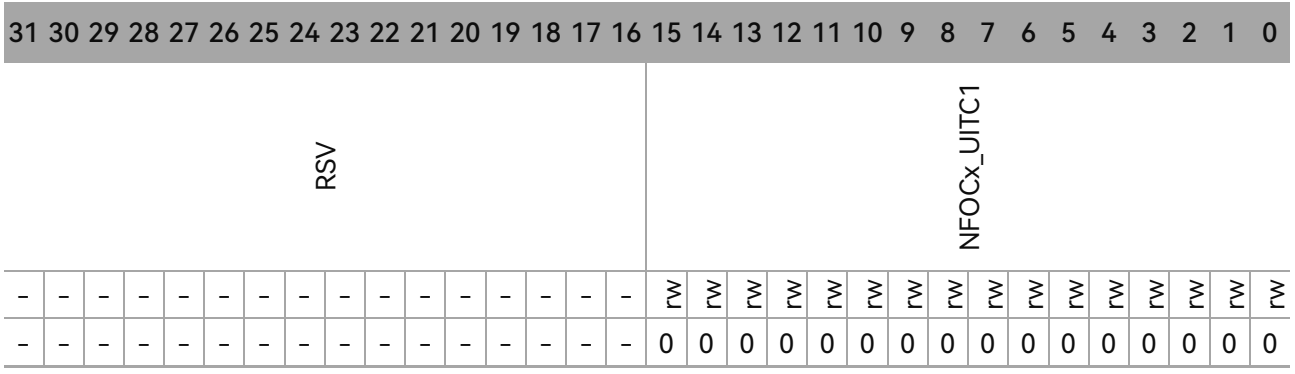
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UITC0 | UQ 补偿的角度相移
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.6 NFOCx_UIUS0 (0x30000242/0x30010242) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIUS0 | UQ 补偿的幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.7 NFOCx_UITC1 (0x30000244/0x30010244) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UITC1 | UQ 补偿的角度相移
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.8 NFOCx_UIUS1 (0x30000246/0x30010246) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UIUS1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIUS1 | UQ 补偿的幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.9 NFOCx_UITC2 (CSR:0x30000248/0x30010248) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UITC2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UITC2 | UQ 补偿的角度相移
取值范围[-32768,32767] |

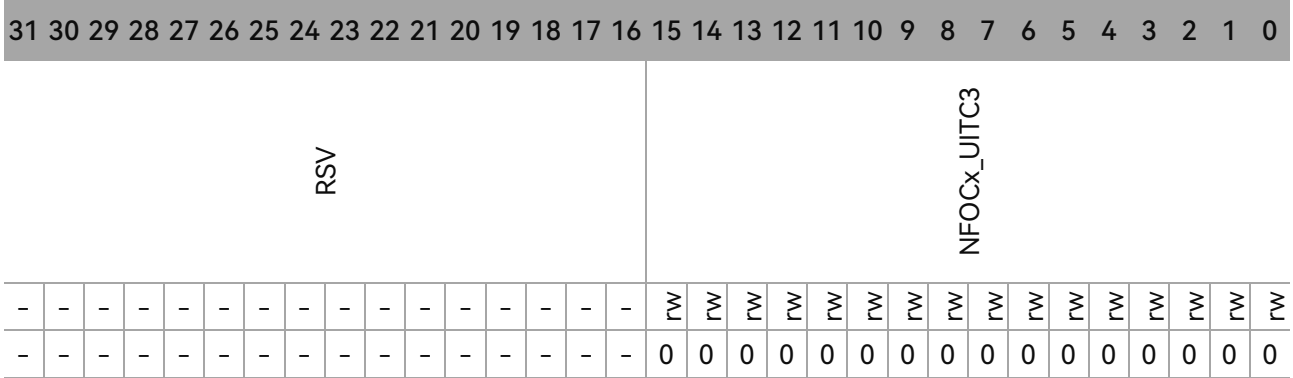
17.16.11.10 NFOCx_UIUS2 (0x3000024A/0x3001024A) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UIUS2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |

- - - - - - - - - - - - - - - - 0

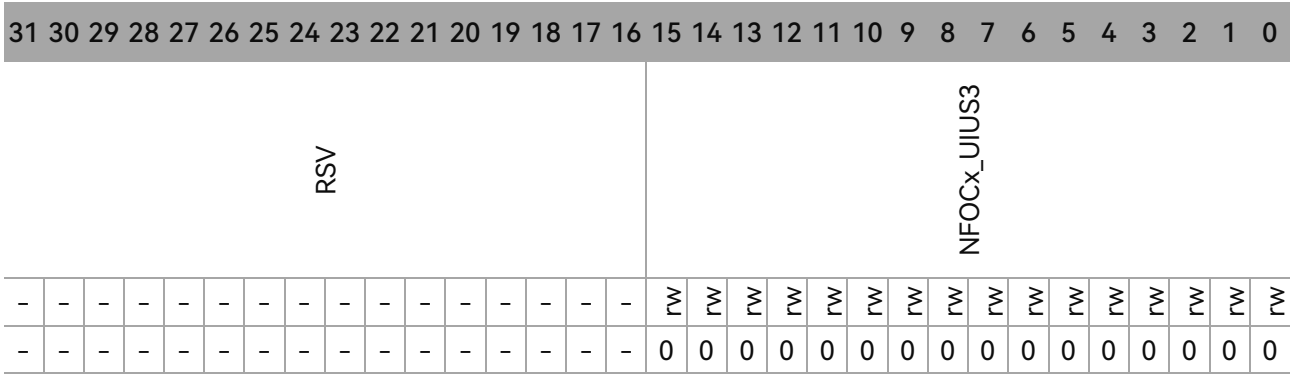
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIUS2 | UQ 补偿的幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.11 NFOCx_UITC3 (0x3000024C/0x3001024C) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UITC3 | UQ 补偿的角度相移
取值范围[-32768,32767] |

17.16.11.12 NFOCx_UIUS3 (0x3000024E/0x3001024E) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UIUS3 | UQ 补偿的幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12 高频注入寄存器

17.16.12.1 NFOCx_HKP (0x300000E0/0x300100E0) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_HKP | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_HKP | 高频注入 PI KP 参数
取值范围[0,16383] |

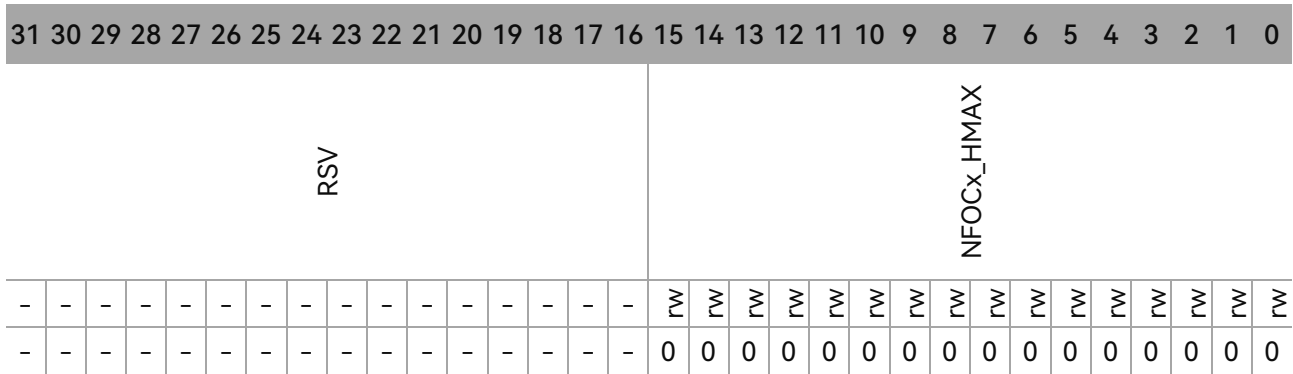
17.16.12.2 NFOCx_HKI (0x300000E2/0x300100E2) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_HKI | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式 |

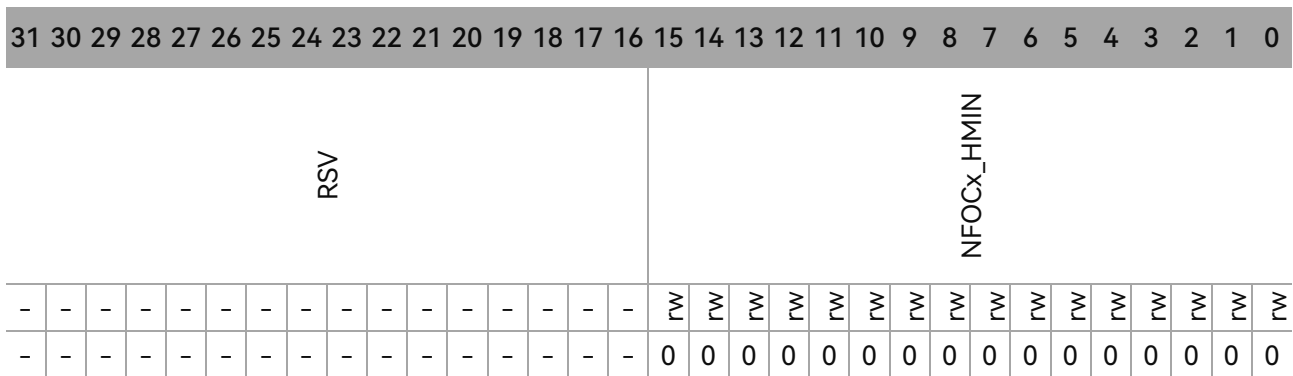
| | | |
|--------|-----------|--------------------------------|
| | | 11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_HKI | 高频注入 PI KI 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.12.3 NFOCx_HMAX (0x300000E4/0x300100E4) (x = 1/2)



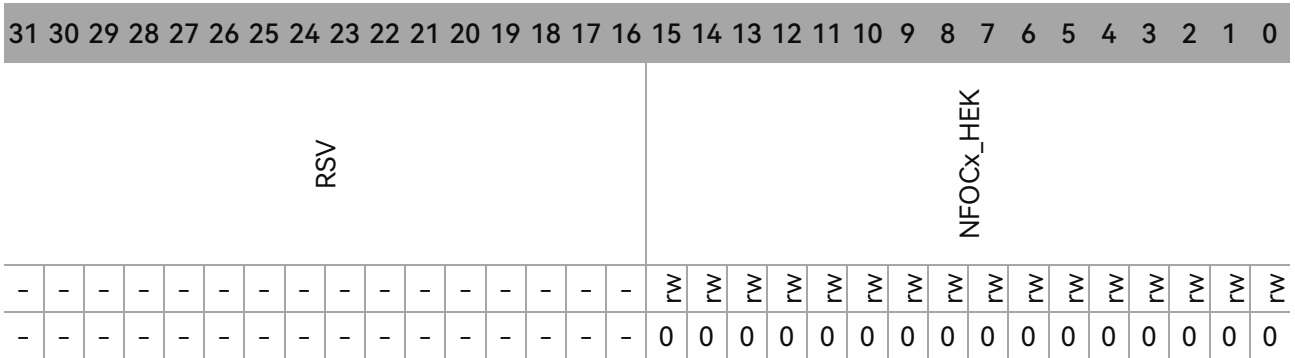
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HMAX | 高频注入 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.4 NFOCx_HMIN (0x300000E6/0x300100E6) (x = 1/2)



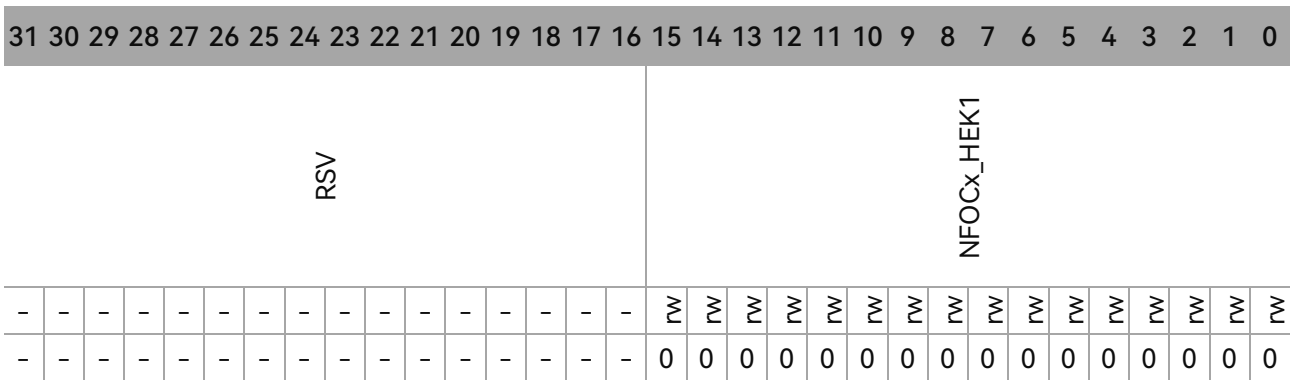
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HMIN | 高频注入 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.5 NFOCx_HEK (0x300000E8/0x300100E8) (x = 1/2)



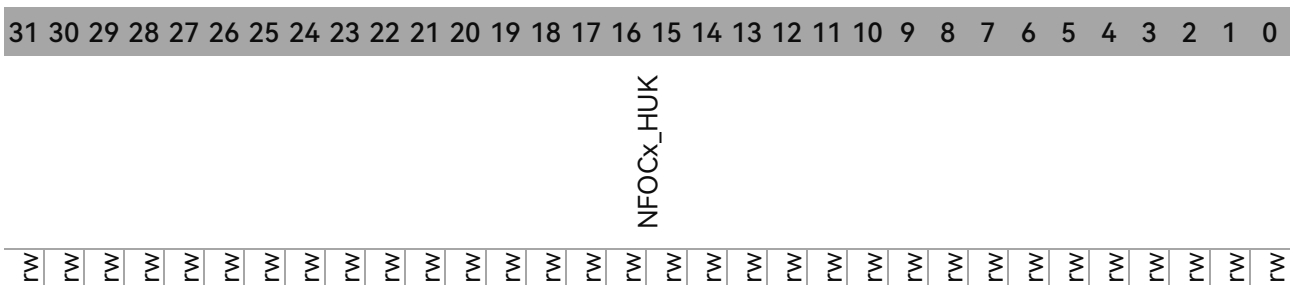
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HEK | 高频注入 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.6 NFOCx_HEK1 (0x300000EA/0x300100EA) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HEK1 | 高频注入 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.7 NFOCx_HUK (0x300000EC/0x300100EC) (x = 1/2)

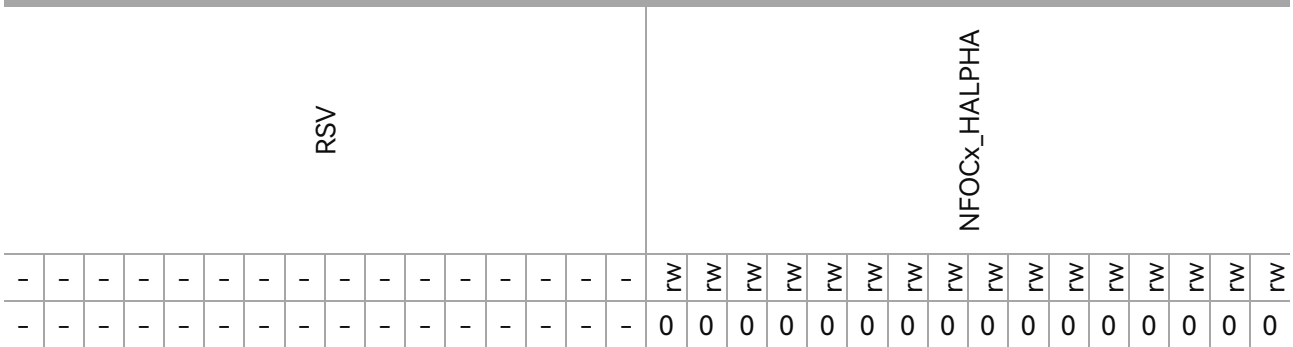


0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-----------|--|
| [31:0] | NFOCx_HUK | 高频注入 PI 输出
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.12.8 NFOCx_HALPHA (0x300000FC/0x300100FC) (x = 1/2)

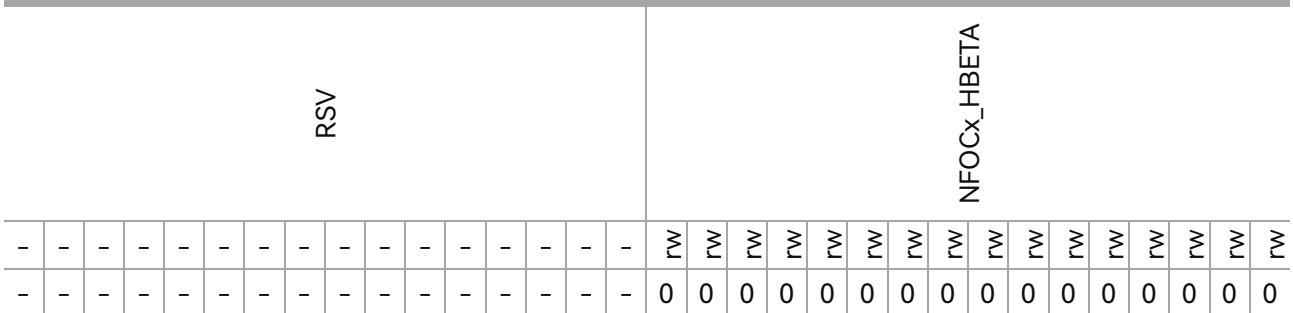
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HALPHA | α轴高频电流包络
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.9 NFOCx_HBETA (0x300000FE/0x300100FE) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HBETA | β轴高频电流包络
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.10 NFOCx_HS (0x30000114/0x30010114) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_HS | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HS | HALPHA 和 HBETA 计算幅值 (平方和后开方)
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.11 NFOCx_ID0 (0x300000F4/0x300100F4) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_ID0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

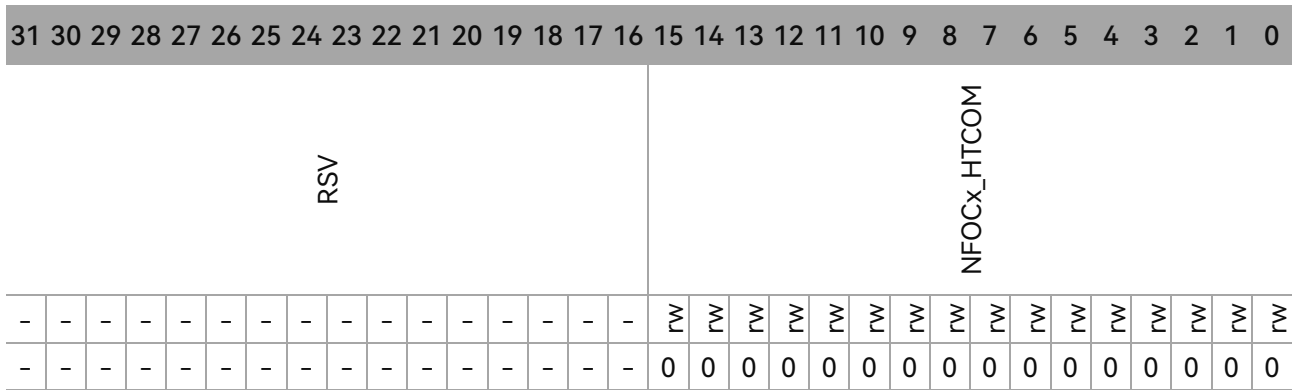
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ID0 | 上一次 FOC 计算的 d 轴电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.12 NFOCx_IQ0 (0x300000F6/0x300100F6) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IQ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IQ0 | 上一次 FOC 计算的 q 轴电流
取值范围[-32768,32767] |

17.16.12.13 NFOCx_HTCOM (0x3000011E/0x3001011E)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HTCOM | 高频注入角度补偿值 |

17.16.13 观测器寄存器

17.16.13.1 NFOCx_EKP (0x30000140/0x30010140) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_EKP | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_EKP | 观测器 PI KP 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.13.2 NFOCx_EKI (0x30000142/0x30010142) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_EKI | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |

| | | |
|--------|-----------|-------------------------------|
| [13:0] | NFOCx_EKI | 观测器 PI KI 参数
取值范围[0,16383] |
|--------|-----------|-------------------------------|

17.16.13.3 NFOCx_EMAX (0x30000144/0x30010144) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_EMAX | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

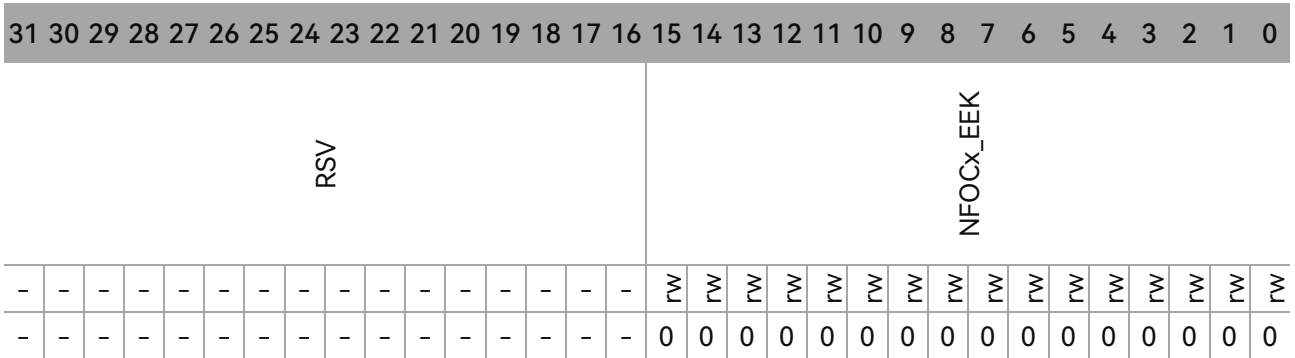
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EMAX | 观测器 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.4 NFOCx_EMIN (0x30000146/0x30010146) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_EMIN | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

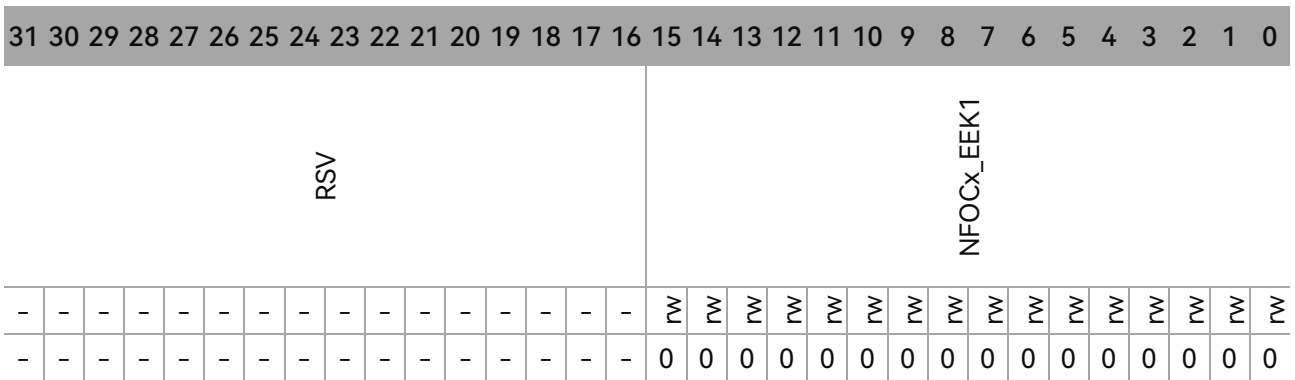
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EMIN | 观测器 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.5 NFOCx_EEK (0x30000148/0x30010148) (x = 1/2)



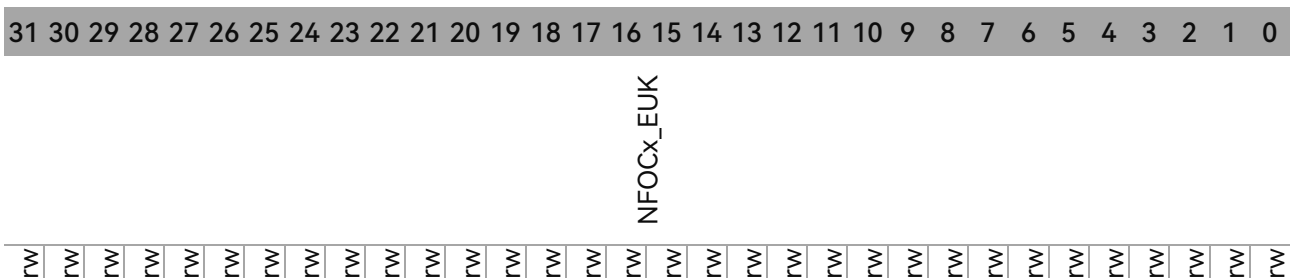
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EEK | 观测器 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.6 NFOCx_EEK1 (0x3000014A/0x3001014A) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EEK1 | 观测器 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.7 NFOCx_EUK (0x3000014C/0x3001014C) (x = 1/2)

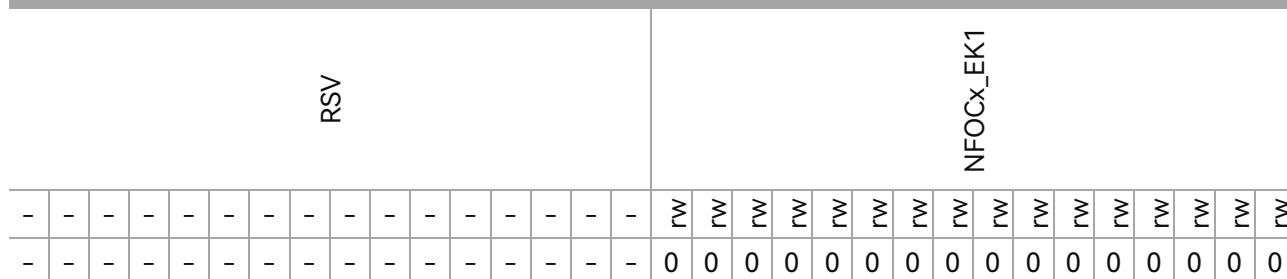


0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-----------|---|
| [31:0] | NFOCx_EUK | 观测器 PI 输出
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.13.8 NFOCx_EK1 (0x300001A8/0x300101A8) (x = 1/2)

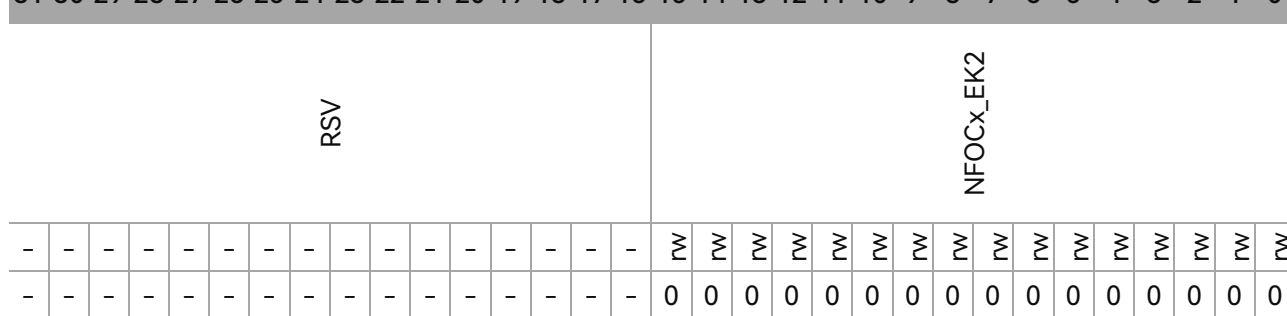
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EK1 | 观测器参数 1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.9 NFOCx_EK2 (0x300001AA/0x300101AA) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EK2 | 观测器参数 2
取值范围[-32768,32767] |

17.16.13.10 NFOCx_EK3 (0x300001AC/0x300101AC) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_EK3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EK3 | 观测器参数 3
取值范围[-32768,32767] |

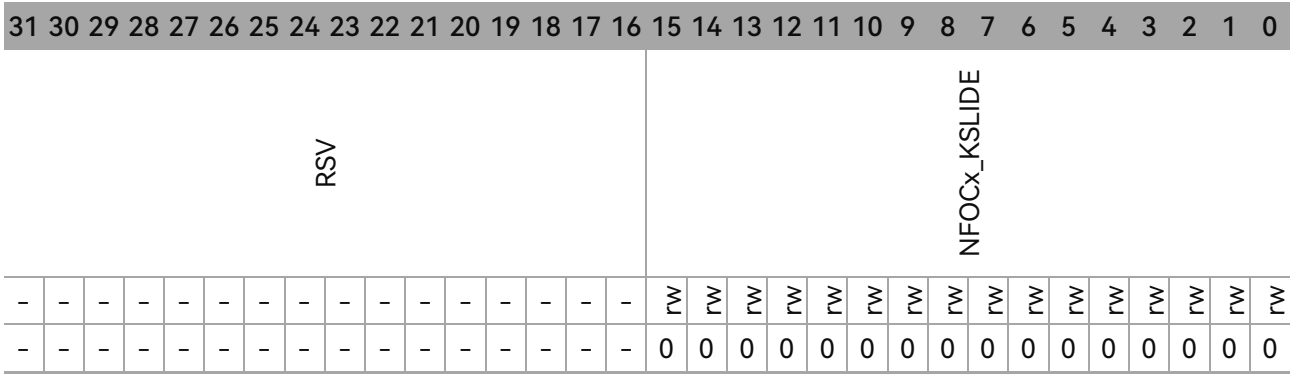
17.16.13.11 NFOCx_EK4 (0x300001AE/0x300101AE) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_EK4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EK4 | 观测器参数 4
取值范围[-32768,32767] |

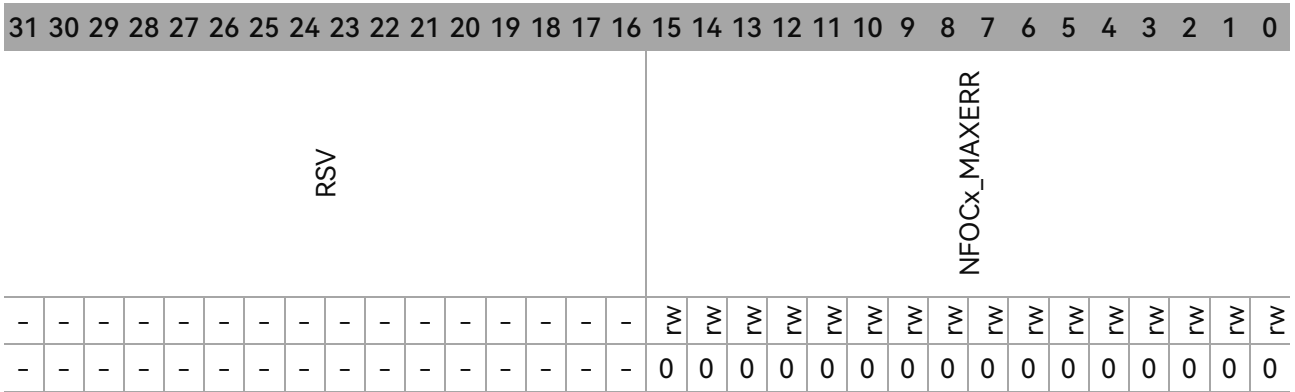
17.16.14 SMO 寄存器

17.16.14.1 NFOCx_KSLIDE (0x300001B0/0x300101B0) (x = 1/2)



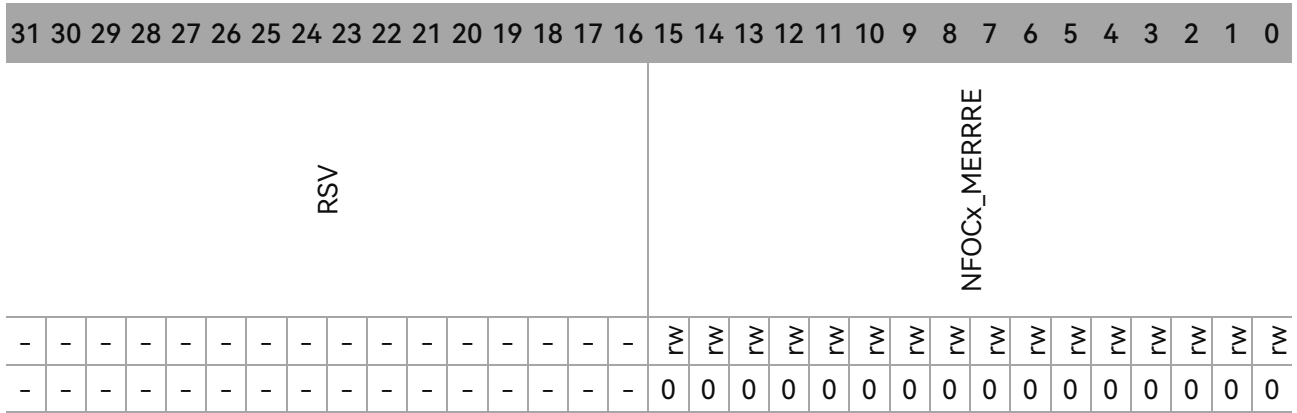
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_KSLIDE | SMO 及磁链观测器系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.14.2 NFOCx_MAXERR (0x300001B2/0x300101B2) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_MAXERR | SMO 限幅
取值范围[-32768,32767] |

17.16.14.3 NFOCx_MERRRE (0x300001B4/0x300101B4) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_MERRRE | SMO 限幅倒数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15 低速观测器寄存器

17.16.15.1 NFOCx_LK1 (0x300001EC/0x300101EC) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LK1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK1 | 低速观测器系数 1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.2 NFOCx_LK2 (0x300001EE/0x300101EE) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LK2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK2 | 低速观测器系数 2
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.3 NFOCx_LK3 (0x300001F0/0x300101F0) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LK3 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK3 | 低速观测器系数 3
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.4 NFOCx_LK4 (0x300001F2/0x300101F2) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LK4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

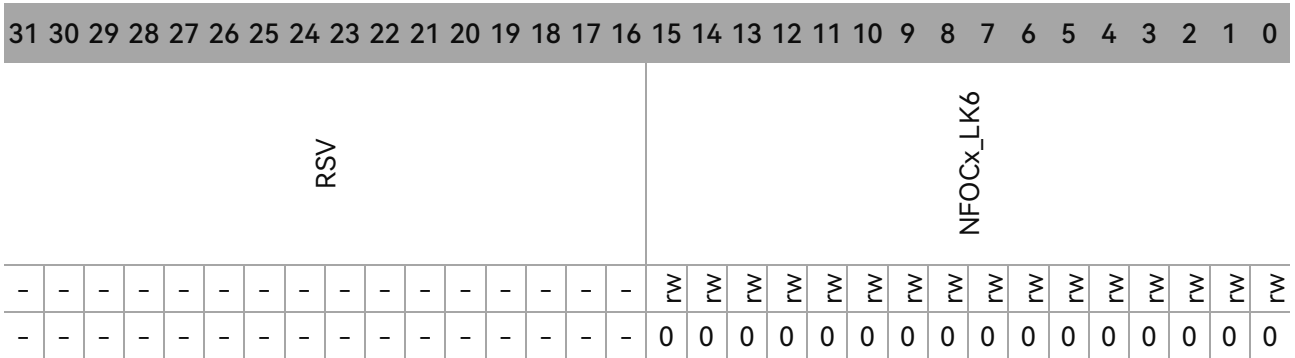
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK4 | 低速观测器系数 4
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.5 NFOCx_LK5 (0x300001F4/0x300101F4) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LK5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

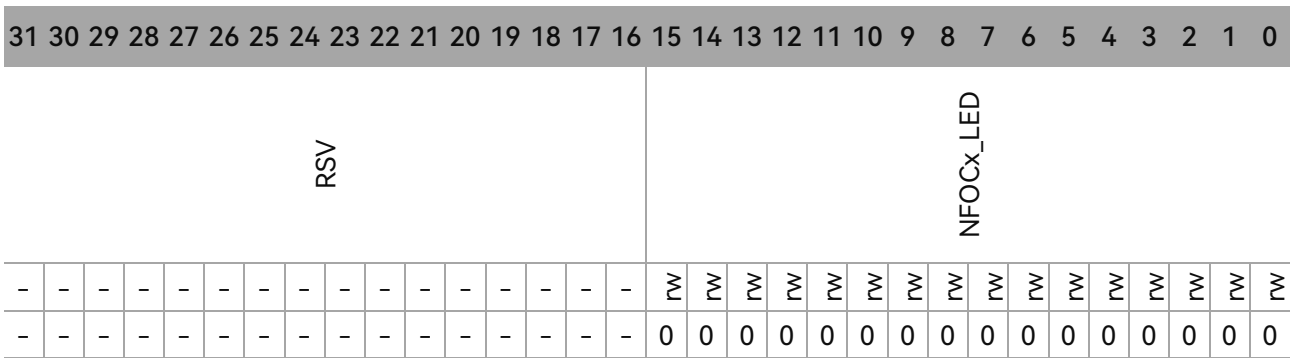
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK5 | 低速观测器系数 5
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.6 NFOCx_LK6 (0x300001F6/0x300101F6) (x = 1/2)



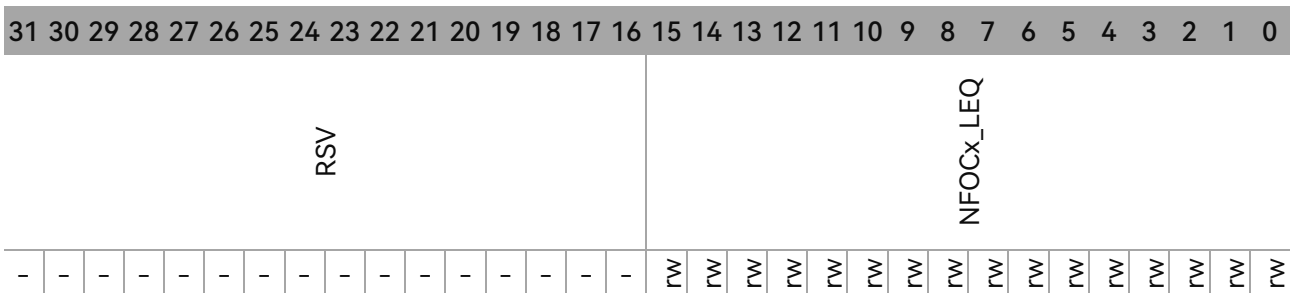
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LK6 | 低速观测器系数 6
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.7 NFOCx_LED (0x300001F8/0x300101F8) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LED | d 轴低速观测器系数
取值范围[-32768,32767] |

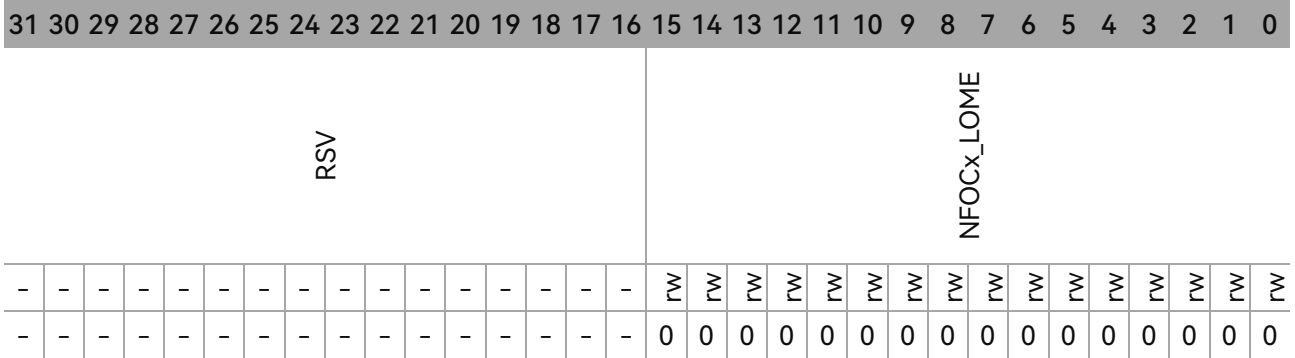
17.16.15.8 NFOCx_LEQ (0x300001FA/0x300101FA) (x = 1/2)



- - - - - - - - - - - - - - - - 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LEQ | q 轴低速观测器系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.15.9 NFOCx_LOME (0x300001FC/0x300101FC) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LOME | 低速观测器输出速度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16 磁链观测器寄存器

17.16.16.1 NFOCx_AFKP (0x300000C0/0x300100C0) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|--|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_AFKP | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

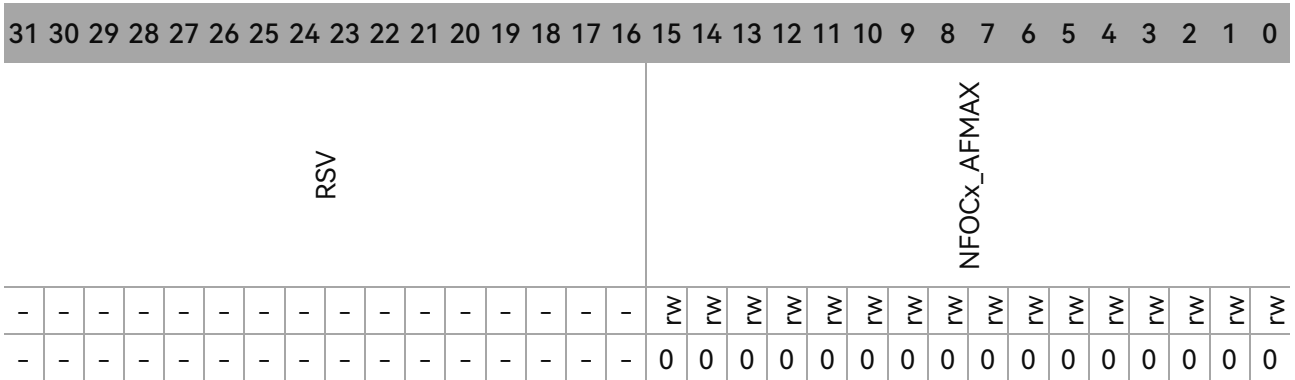
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFKP | 全阶磁链观测器 KP
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.2 NFOCx_AFKI (0x300000C2/0x300100C2) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|--|--|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_AFKI | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | \overline{r} | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

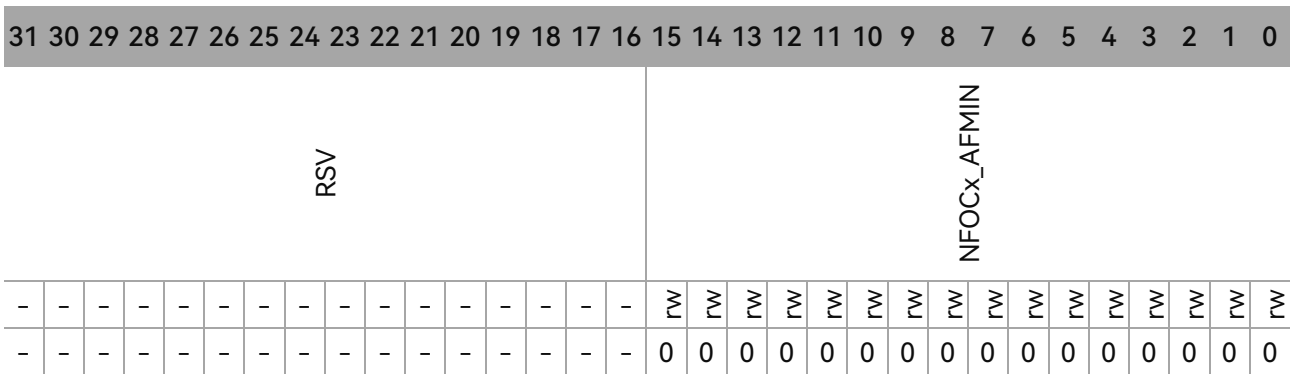
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFKI | 全阶磁链观测器 KI
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.3 NFOCx_AFMAX (0x300000C4/0x300100C4) (x = 1/2)



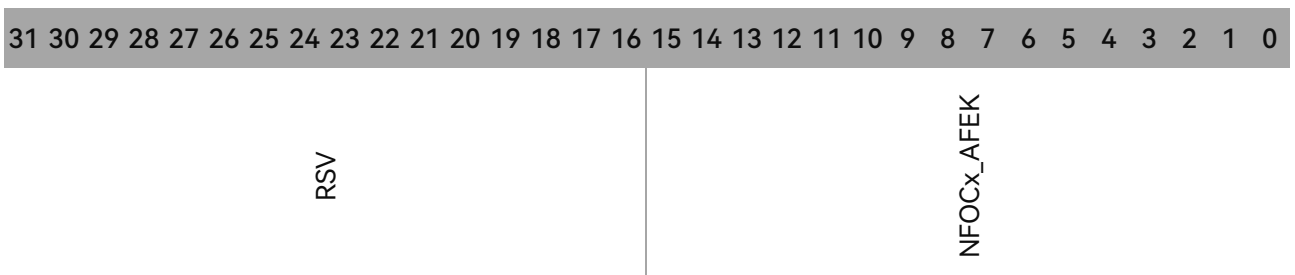
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFMAX | 全阶磁链观测器 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.4 NFOCx_AFMIN (0x300000C6/0x300100C6) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFMIN | 全阶磁链观测器 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.5 NFOCx_AFEK (0x300000C8/0x300100C8) (x = 1/2)



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFEK | 全阶磁链观测器 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.6 NFOCx_AFEK1 (0x300000CA/0x300100CA) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_AFEK1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

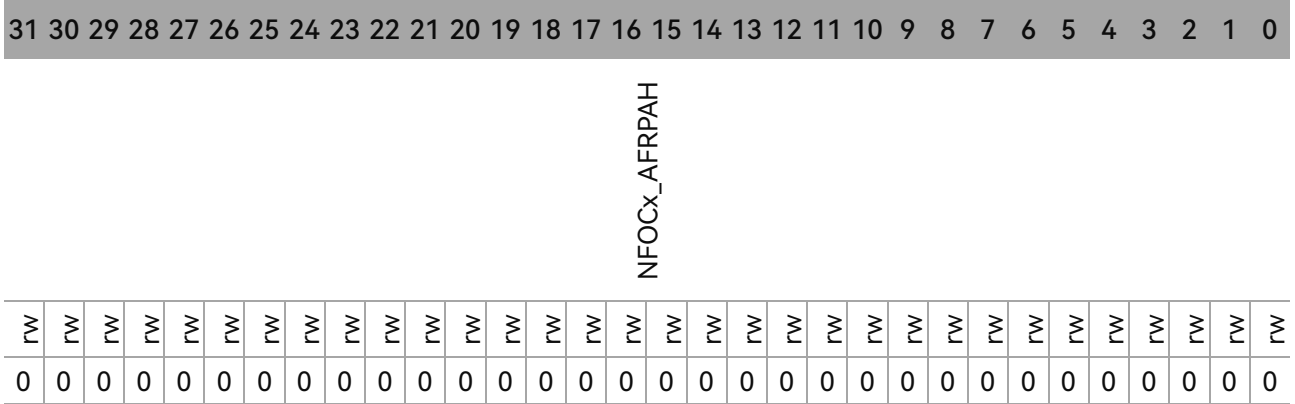
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFEK1 | 全阶磁链观测器 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.7 NFOCx_AFUK (0x300000CC/0x300100CC) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | |
| NFOCx_AFUK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

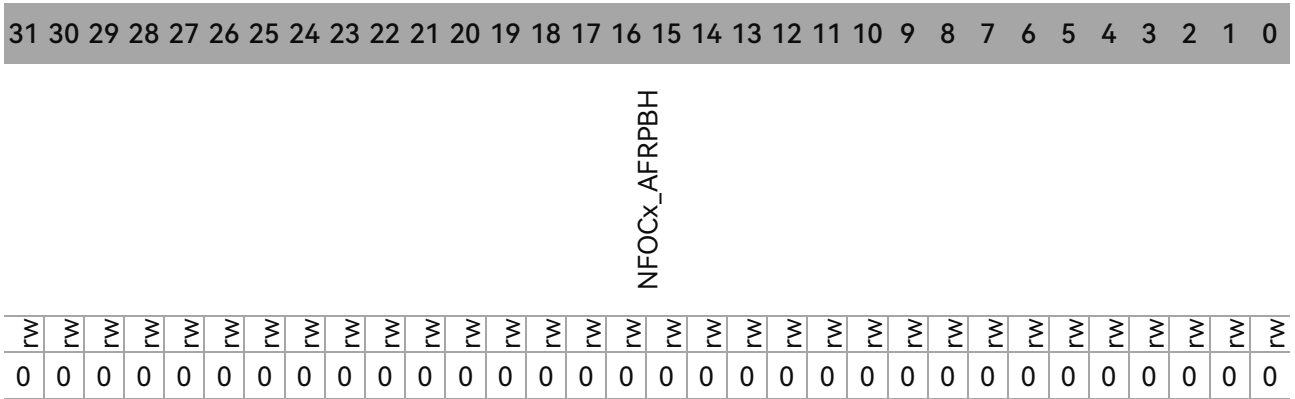
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------------|--|
| [31:0] | NFOCx_AFUK | 全阶磁链观测器 PI UK
取值范围[-2147483648,2147483647]] |

17.16.16.8 NFOCx_AFRPAH (0x3000015C/0x3001015C) (x = 1/2)



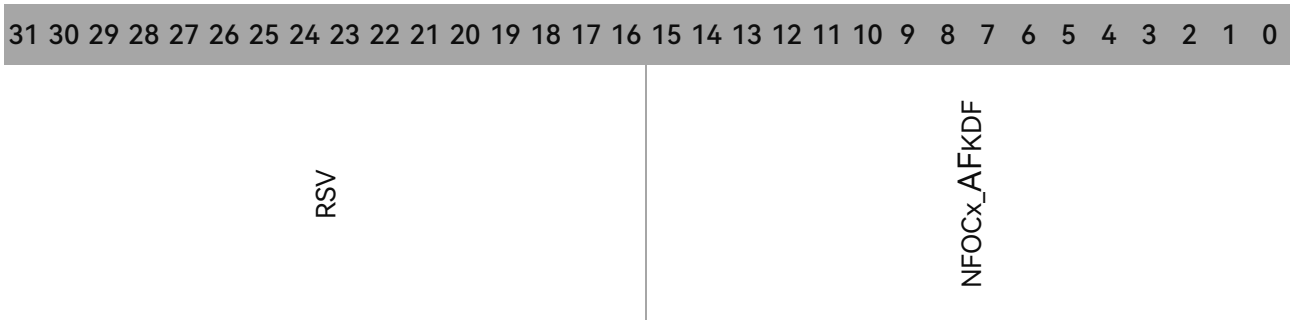
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|---|
| [31:0] | NFOCx_AFRPAH | 全阶磁链观测器估算α轴磁链
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.16.9 NFOCx_AFRPBH (0x30000174/0x30010174) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|---|
| [31:0] | NFOCx_AFRPBH | 全阶磁链观测器估算β轴磁链
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.16.10 NFOCx_AFKDF (0x3000017C/0x3001017C) (x = 1/2)



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFKDF | AFO 计算参数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.11 NFOCx_AFKAF (0x3000017E/0x3001017E) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_AFKAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_AFKAF | AFO 计算参数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.12 NFOCx_FEK5 (0x300001B0/0x300101B0) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | |
| NFOCx_FEK5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------------|---|
| [31:0] | NFOCx_FEK5 | 全阶磁链观测器参数 5
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.16.13 NFOCx_FEK6 (0x300001B4/0x300101B4) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_FEK6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------------|---|
| [31:0] | NFOCx_FEK6 | 磁链观测器系数 6
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.16.14 NFOCx_FEK7 (0x30000BC/0x30010BC) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_FEK7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FEK7 | 磁链观测器系数 7
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.15 NFOCx_FEK8 (0x300000BE/0x300100BE) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_FEK8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |

- - - - - - - - - - - - - - - 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FEK8 | 磁链观测器系数 8
取值范围[-32768,32767] |

17.16.16.16 NFOCx_AFTHE (0x30000254/0x30010254) (x = 1/2)

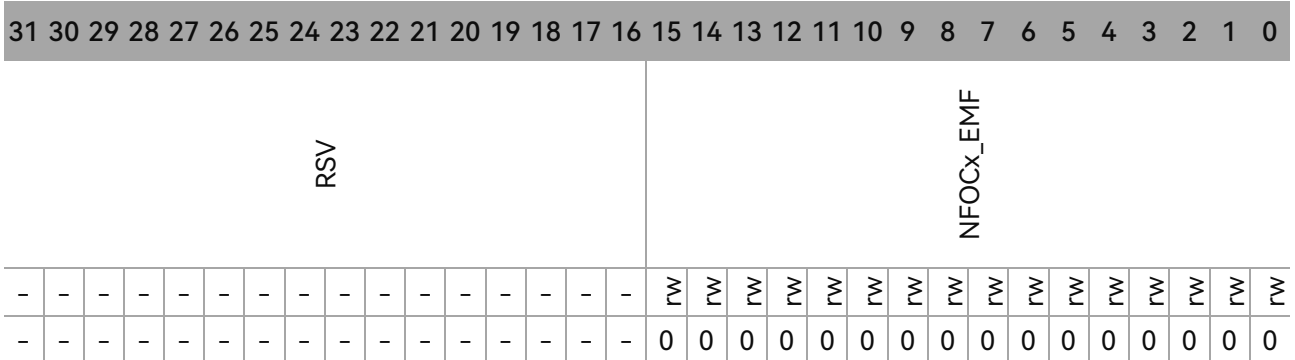
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

NFOCx_AFTHE

0 0

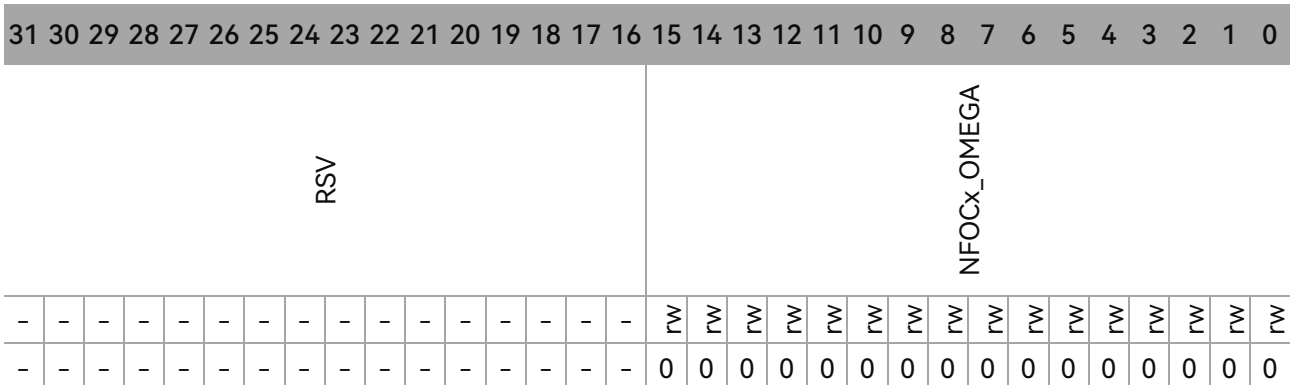
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------------|--|
| [31:0] | NFOCx_AFP THE | AFO 估算角度
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.17.6 NFOCx_EMF (0x300001E0/0x300101E0) (x = 1/2)



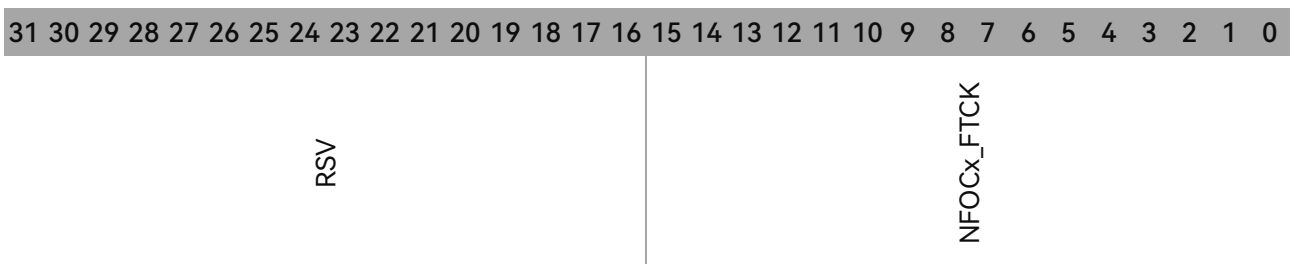
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_EMF | 估算反电动势幅值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.7 NFOCx_OMEGA (0x30000204/0x30010204) (x = 1/2)



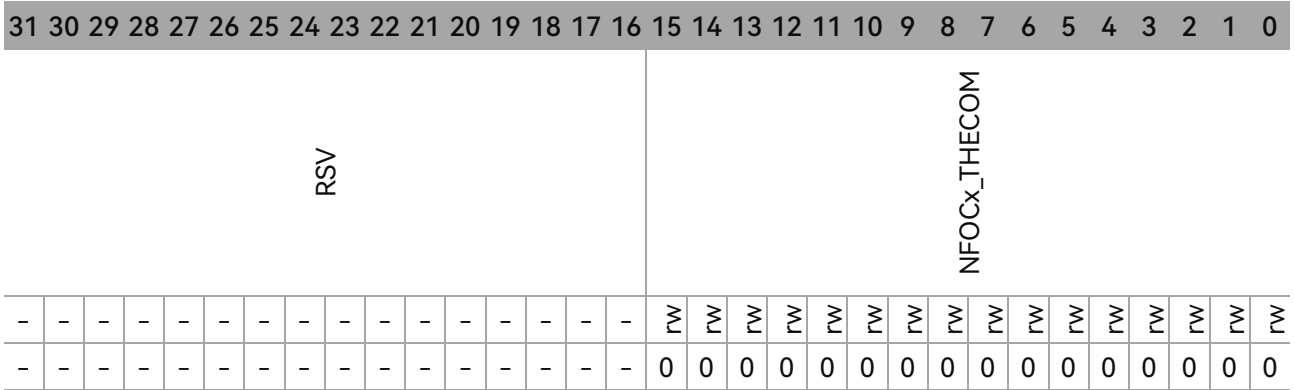
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OMEGA | 电机最终速度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.8 NFOCx_FTCK (0x3000019E/0x3001019E) (x = 1/2)



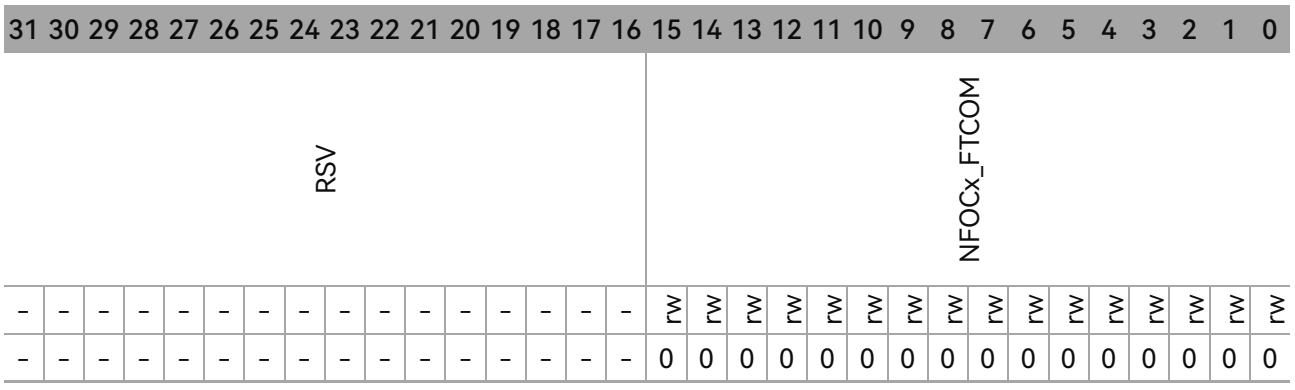
取值范围[-32768,32767]

17.16.17.11 NFOCx_THECOM (0x300001A4/0x300101A4) (x = 1/2)



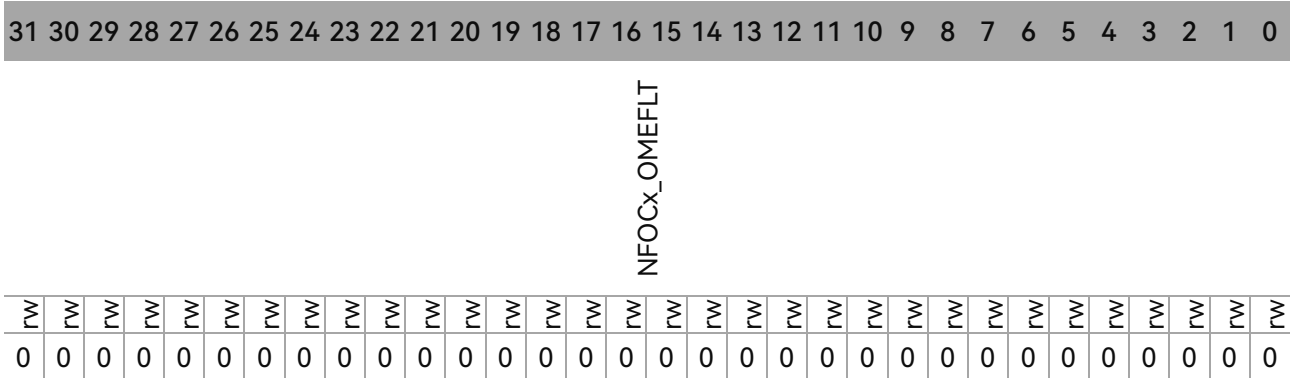
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_THECOM | 输出角度的静态补偿角
取值范围[-32768,32767]
 备注：
若对观测器估算角度 NFOCx_ETHERTA 做补偿，请填写 NFOCx_FTCOM |

17.16.17.12 NFOCx_FTCOM (0x300001A6/0x300101A6) (x = 1/2)



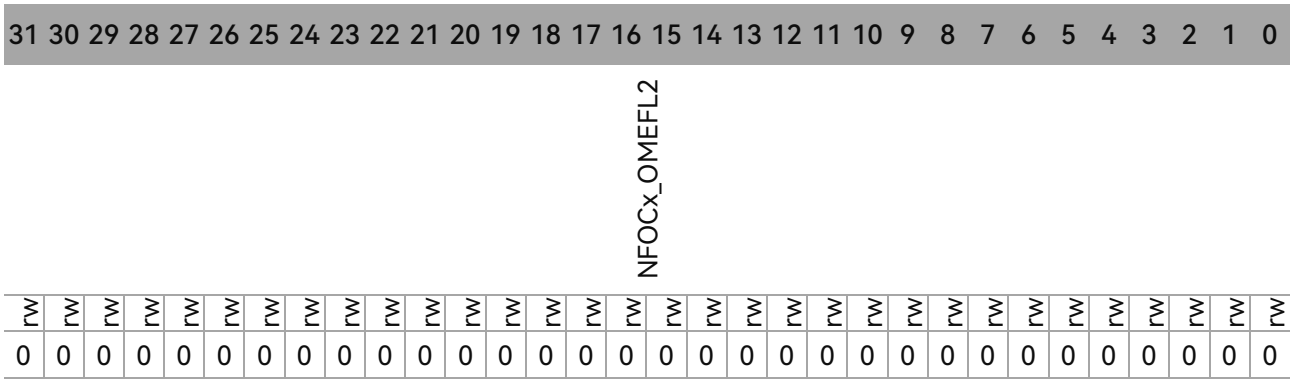
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FTCOM | 反馈角度的静态补偿角
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.13 NFOCx_OMEFLT (0x3000020C/0x3001020C) (x = 1/2)



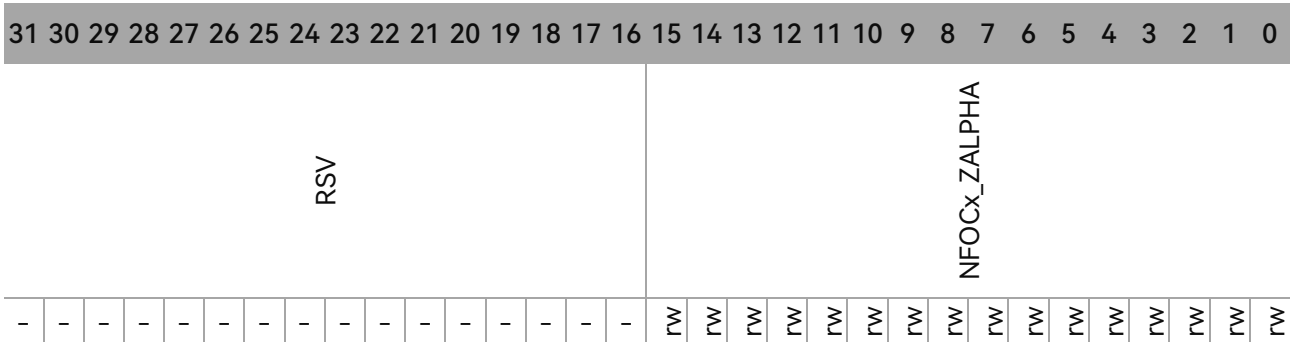
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|---|
| [31:0] | NFOCx_OMEFLT | OMEGA 一级滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.17.14 NFOCx_OMEFL2 (0x30000210/0x30010210) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|---|
| [31:0] | NFOCx_OMEFL2 | OMEGA 二级滤波值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

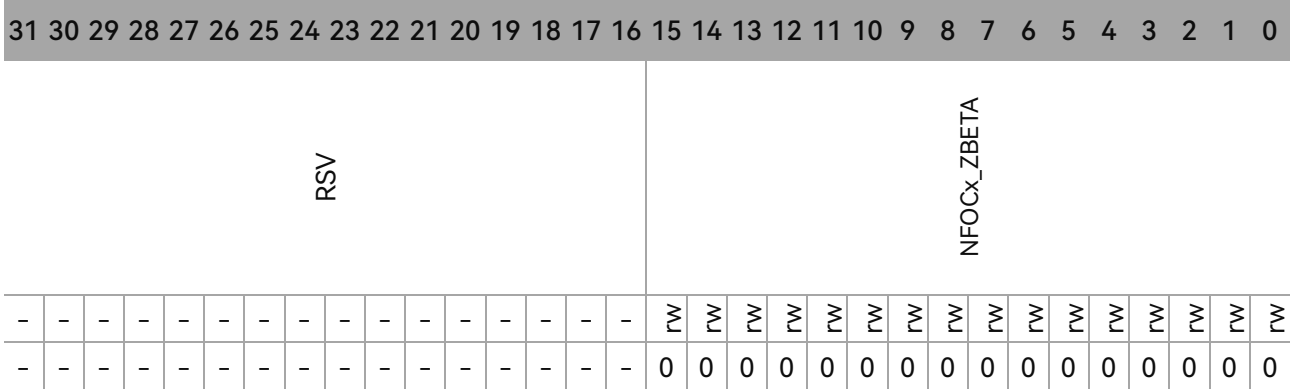
17.16.17.15 NFOCx_ZALPHA (0x30000214/0x30010214) (x=1/2)



- - - - - - - - - - - - - - - - 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

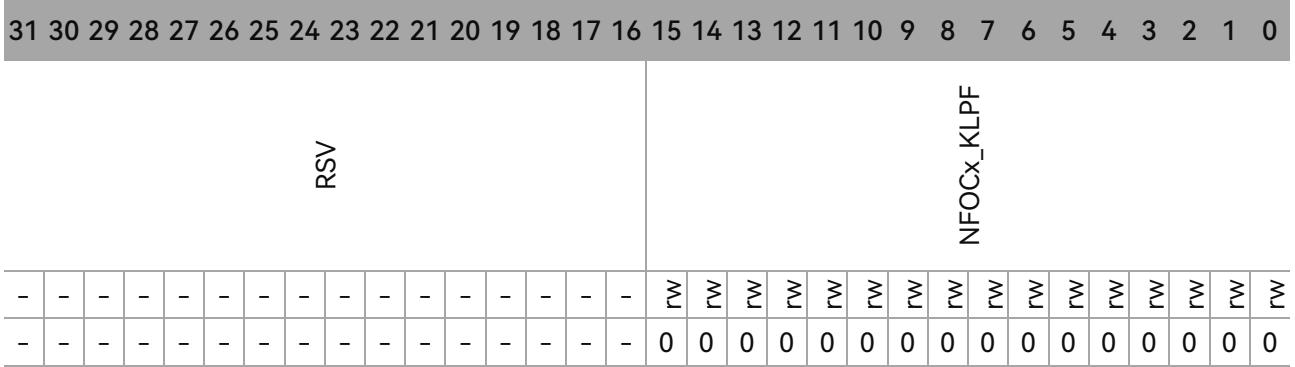
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ZALPHA | 滤波前的α轴反电动势
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.16 NFOCx_ZBETA (0x30000216/0x30010216) (x=1/2)



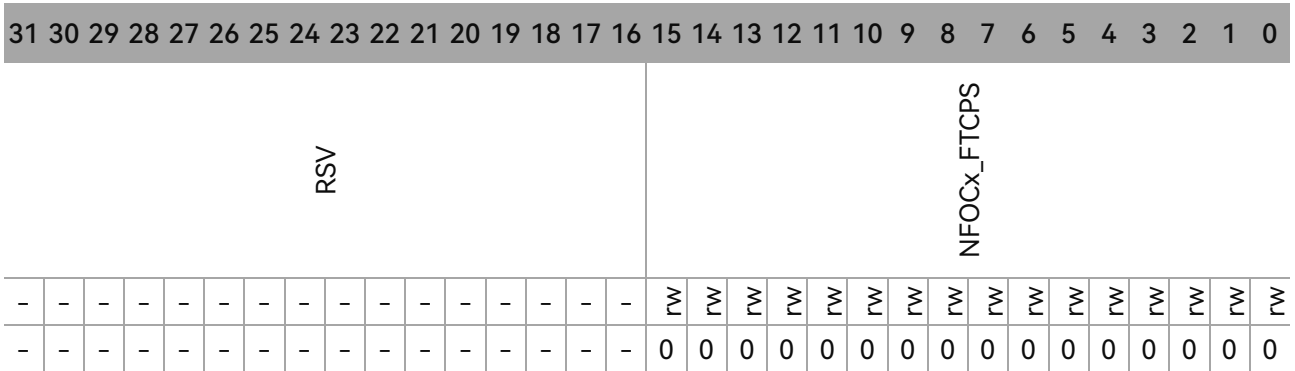
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ZBETA | 滤波前的β轴反电动势
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.17 NFOCx_KLPF (0x30000218/0x30010218) (x = 1/2)



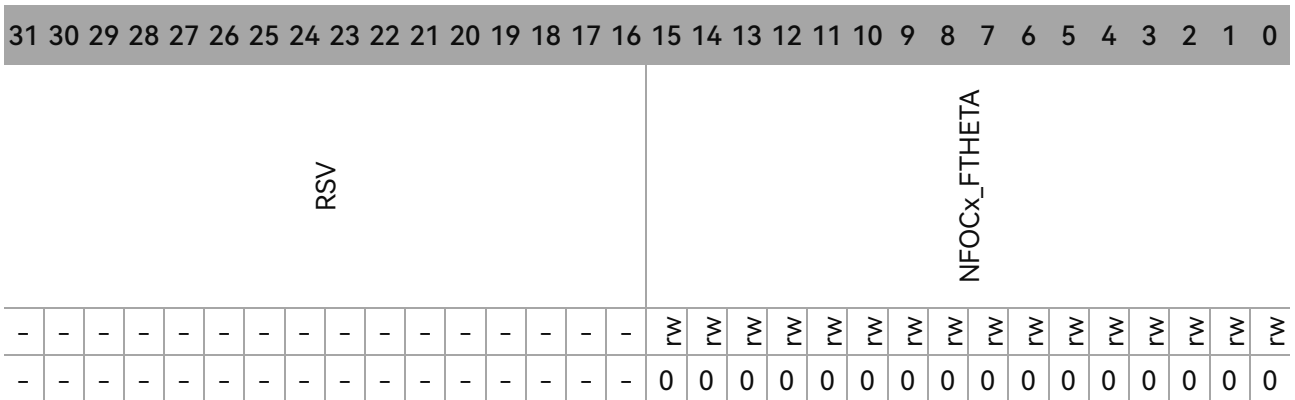
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_KLPF | 观测器的低通滤波器系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.18 NFOCx_FTCPS (CSR:0x30000268/0x30010268) (x = 1/2)



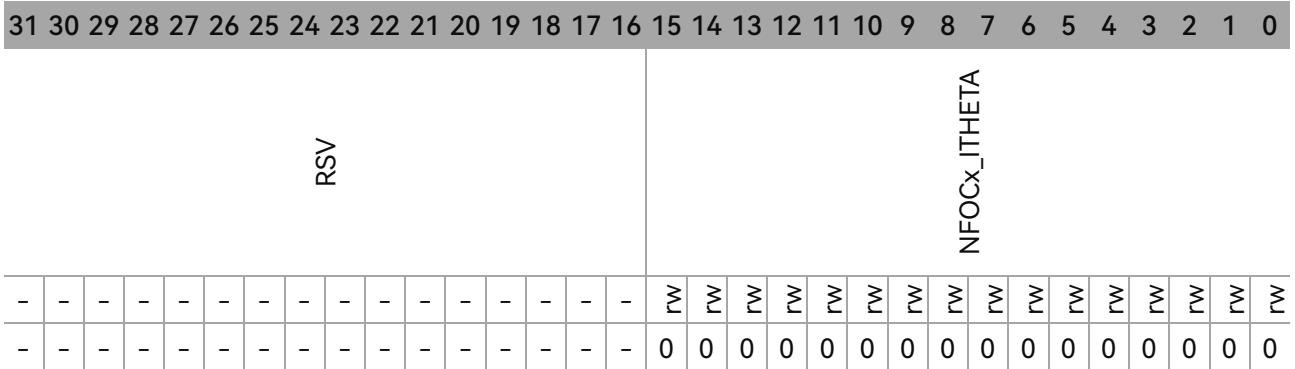
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FTCPS | 计算得到的动态补偿角
$NFOCx_FTCPS = NFOCx_FTCK * NFOCx_OMEFL2 * NFOCx_FBASE$
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.19 NFOCx_FTHETA (0x3000026A/0x3001026A) (x = 1/2)



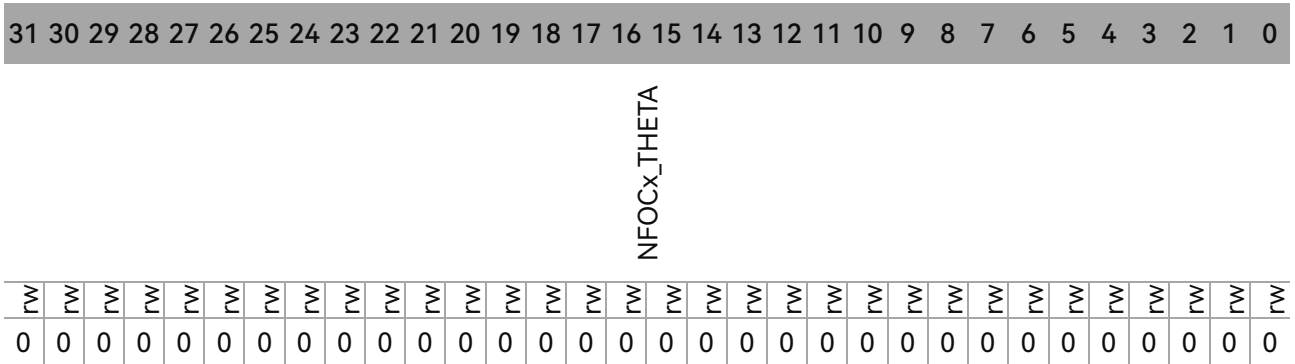
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FTHETA | 观测器反馈角度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.20 NFOCx_ITHETA (0x300003EE/0x300103EE) (x = 1/2)



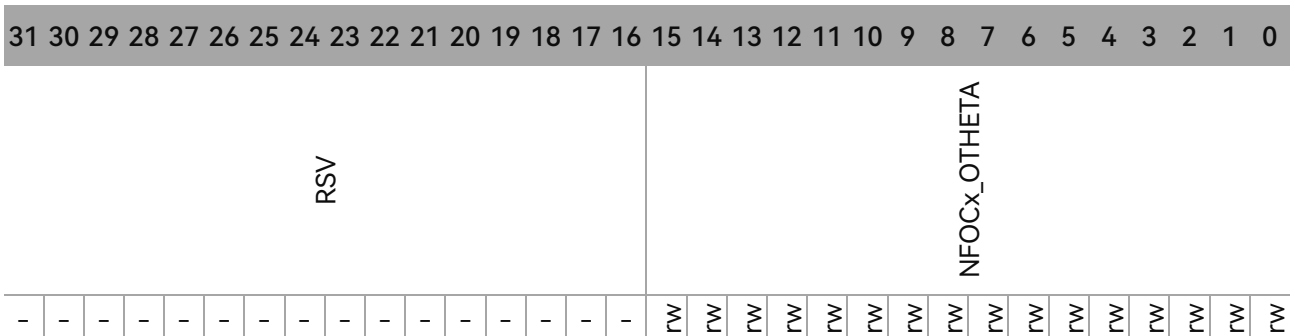
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ITHETA | NFOCx_IALPHA 和 NFOCx_IBETA 计算的角度 (atan)
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.21 NFOCx_THETA (0x30000158/0x30010158) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------------|---------------------------------------|
| [31:0] | NFOCx_THETA | 最终角度值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.17.22 NFOCx_OTHETA (0x30000258/0x30010258) (x = 1/2)



- - - - - - - - - - - - - - - 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OTHETA | 由 NFOCx_OMEGA 积分得到的补偿前角度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.17.23 NFOCx_DELOTHE (0x3000028C/0x3001028C) (x = 1/2)

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

NFOCx_DELOTHE

0 0

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------------|--|
| [31:0] | NFOCx_DELOTHE | NFOCx_OTHETA 变化量
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.17.24 NFOCx_DELETHE (0x30000290/0x30010290) (x = 1/2)

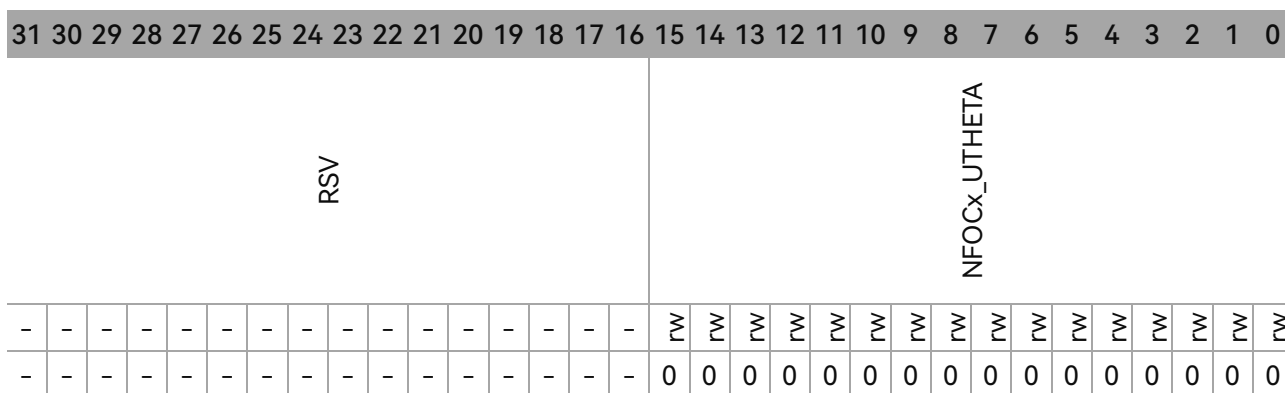
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

NFOCx_DELETHE

0 0

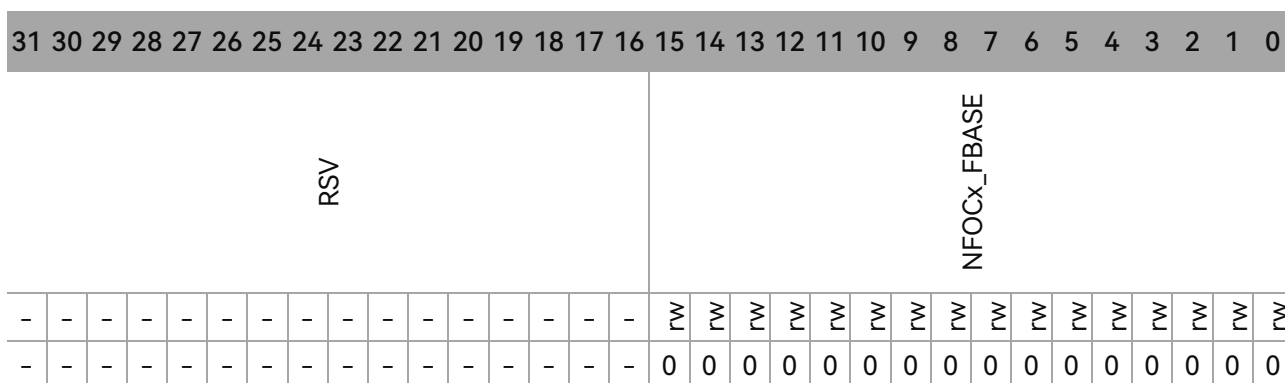
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------------|--|
| [31:0] | NFOCx_DELETHE | NFOCx_ETHETA 变化量
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.17.25 NFOCx_UTHETA (0x300000DE/0x300100DE) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UTHETA | NFOCx_UALPHA 和 NFOCx_UBETA 计算的角度 (atan)
取值范围[-32768,32767] |

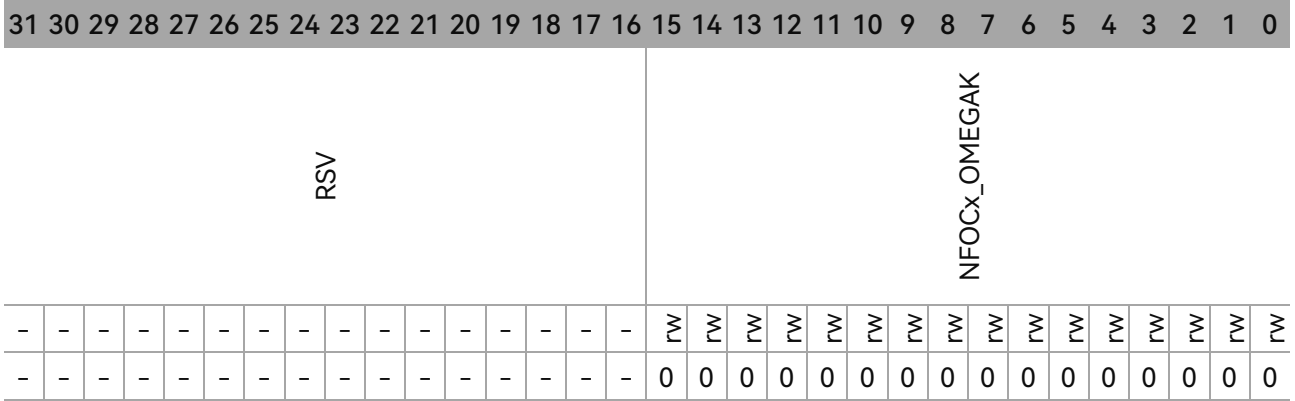
17.16.17.26 NFOCx_FBASE (0x300001A0/0x300101A0) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FBASE | 速度基准
取值范围[-32768,32767] |

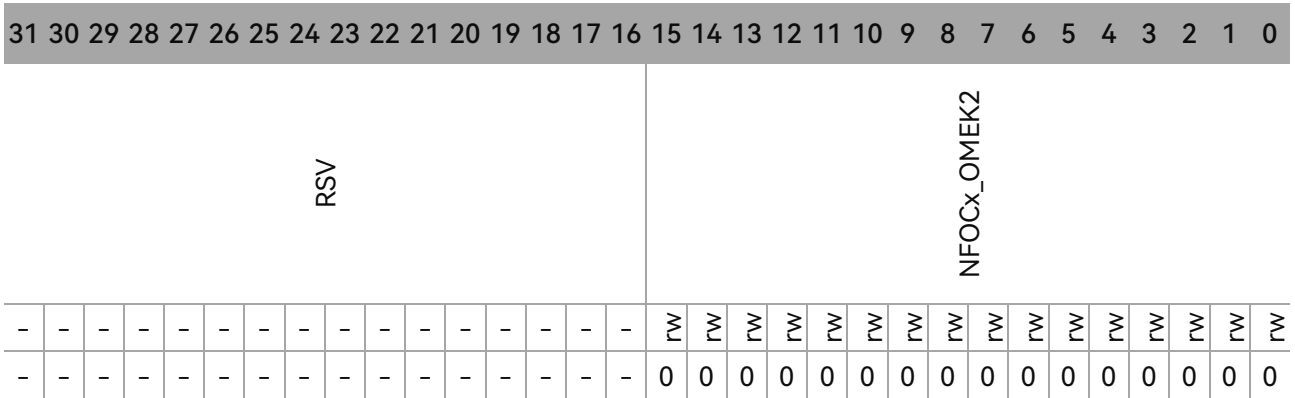
17.16.18 OMEGA 启动寄存器

17.16.18.1 NFOCx_OMEGAK (0x30000288/0x30010288) (x = 1/2)



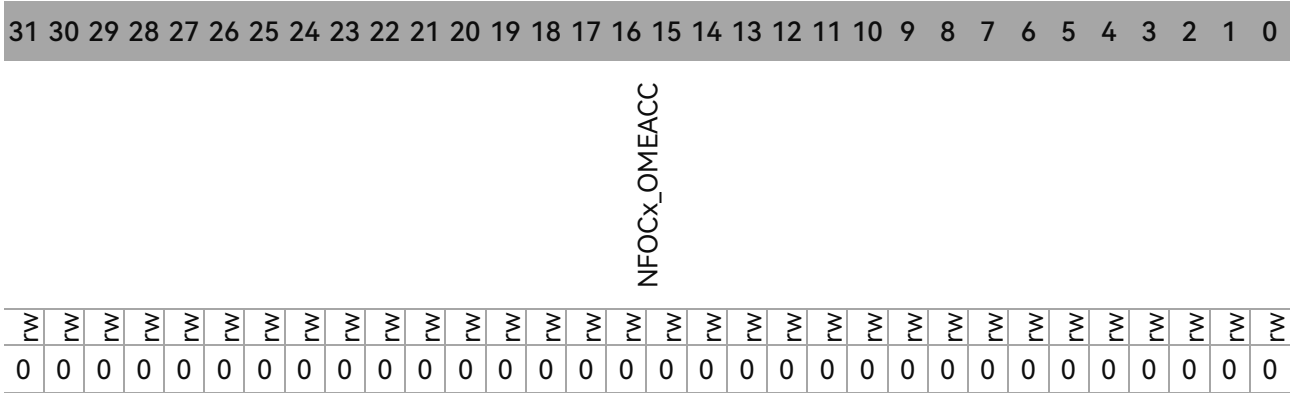
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OMEGAK | OMEGA 一级滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.18.2 NFOCx_OMEK2 (0x3000028A/0x3001028A) (x = 1/2)



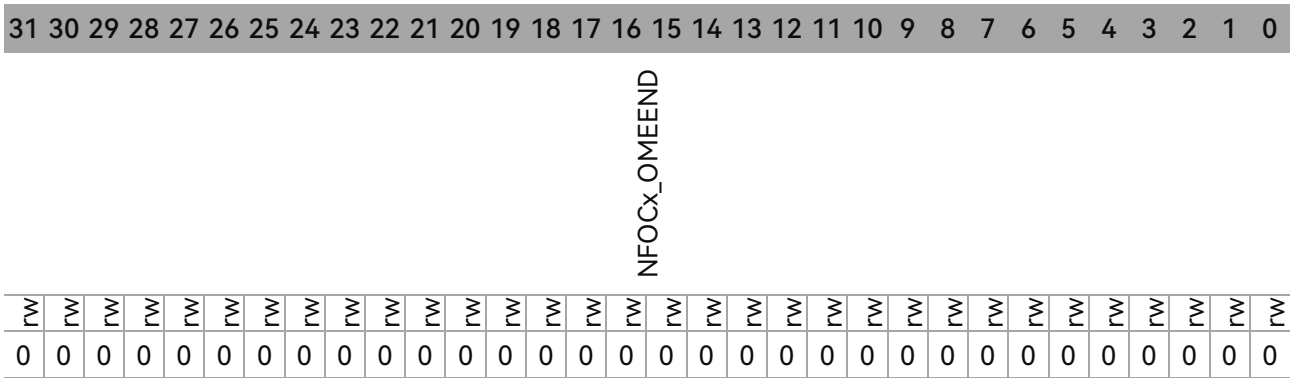
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OMEK2 | OMEGA 二级滤波系数
取值范围[-32768,32767] |

17.16.18.3 NFOCx_OMEACC (0x30000194/0x30010194) (x = 1/2)



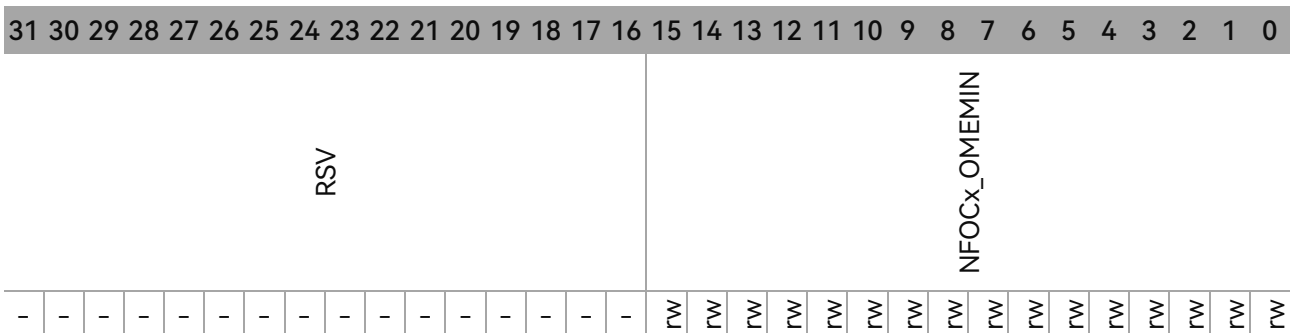
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|--|
| [31:0] | NFOCx_OMEACC | Omega 启动速度增量
取值范围[-2147483648,2147483647] |

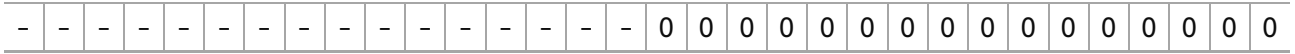
17.16.18.4 NFOCx_OMEEND (0x30000198/0x30010198) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|---|
| [31:0] | NFOCx_OMEEND | Omega 启动限制值
取值范围[-2147483648,2147483647] |

17.16.18.5 NFOCx_OMEMIN (0x3000019C/0x3001019C) (x = 1/2)





| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-------------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OMEMIN | Omega 启动最小切换值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.19 外环寄存器

17.16.19.1 NFOCx_WKP (0x30000160/0x30010160) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_WKP | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式
11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_WKP | 外环 PI KP 参数
取值范围[0,16383] |

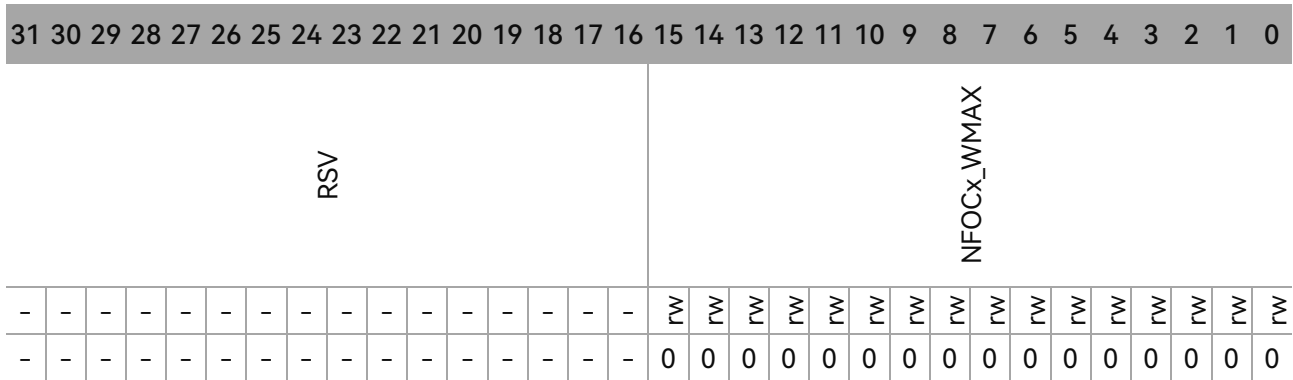
17.16.19.2 NFOCx_WKI (0x30000162/0x30010162) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | PI_QSEL | | NFOCx_WKI | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:14] | PI_QSEL | PI 参数选择
00: Q15 格式
01: Q12 格式
10: Q8 格式 |

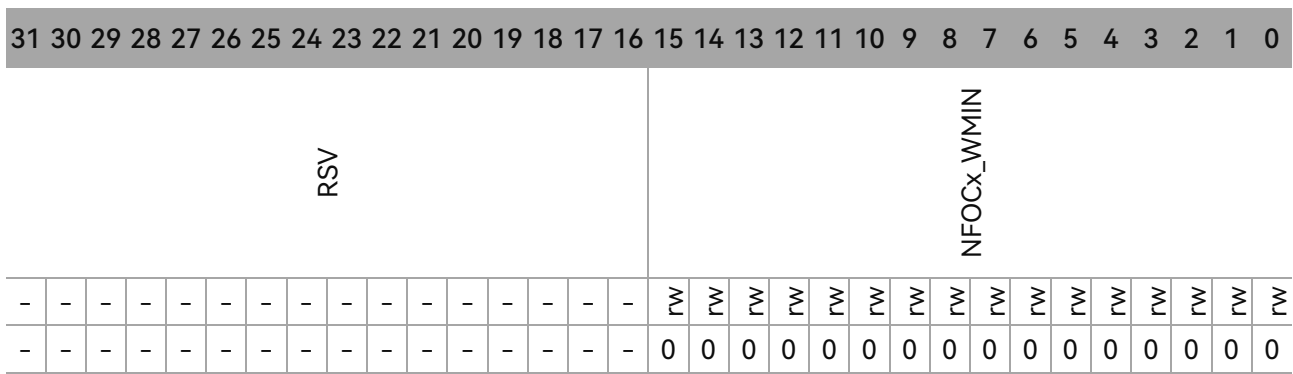
| | | |
|--------|-----------|------------------------------|
| | | 11: Q4 格式 |
| [13:0] | NFOCx_WKI | 外环 PI KI 参数
取值范围[0,16383] |

17.16.19.3 NFOCx_WMAX (0x30000164/0x30010164) (x = 1/2)



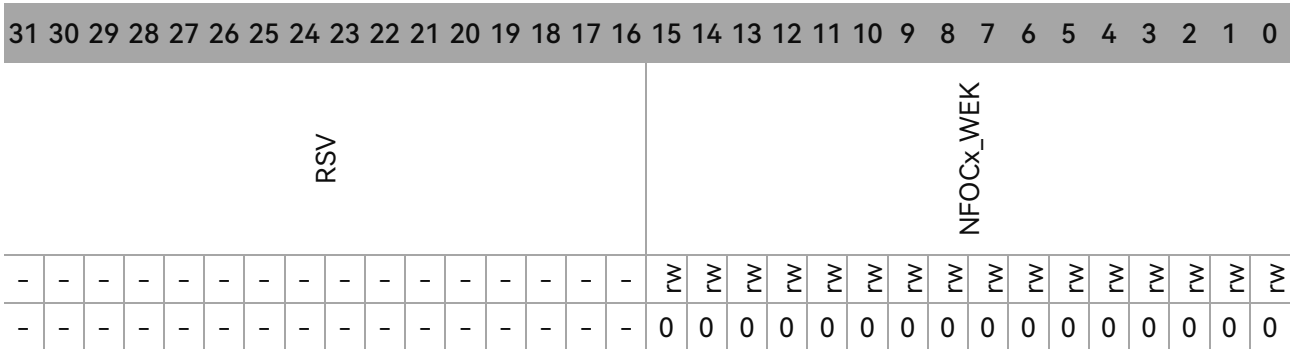
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WMAX | 外环 PI 上限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.19.4 NFOCx_WMIN (0x30000166/0x30010166) (x = 1/2)



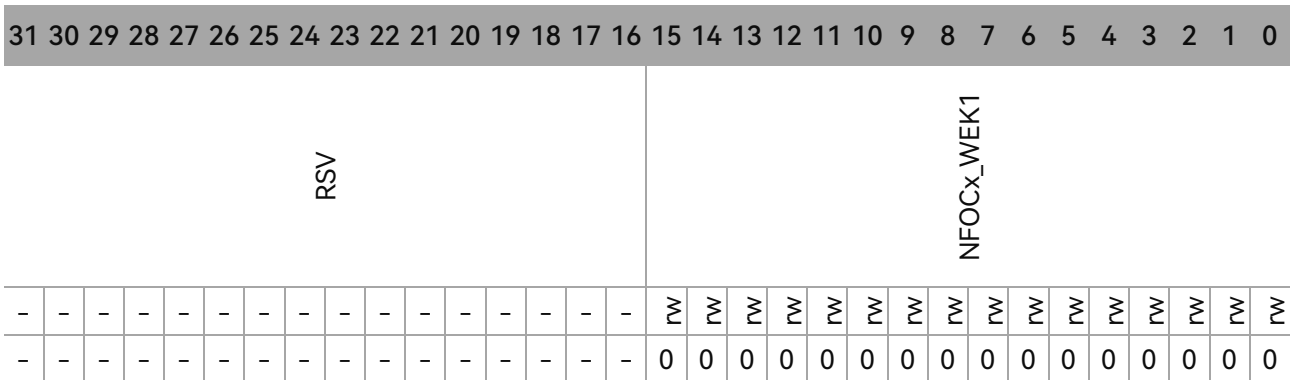
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WMIN | 外环 PI 下限值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.19.5 NFOCx_WEK (0x30000168/0x30010168) (x = 1/2)



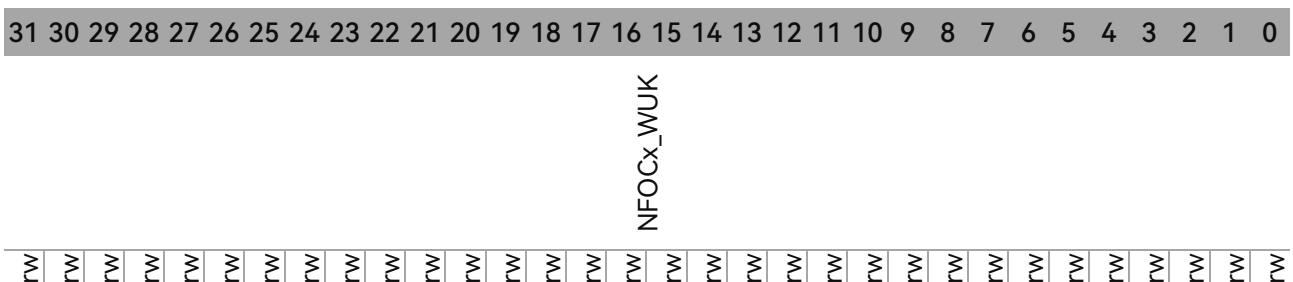
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WEK | 外环 PI EK
取值范围[-32768,32767] |

17.16.19.6 NFOCx_WEK1 (0x3000016A/0x3001016A) (x = 1/2)

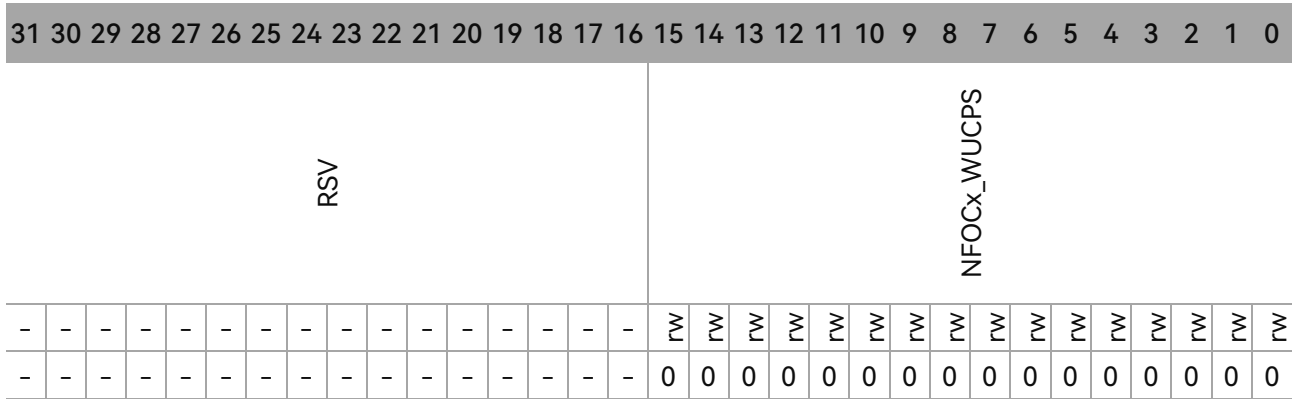


| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WEK1 | 外环 PI EK1
取值范围[-32768,32767] |

17.16.19.7 NFOCx_WUK (0x3000016C/0x3001016C) (x = 1/2)

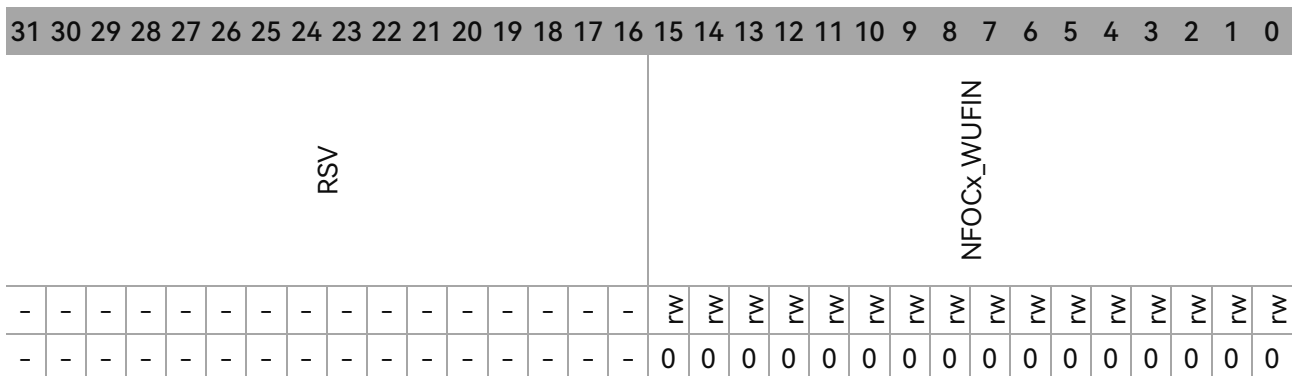


17.16.19.10 NFOCx_WUCPS (0x3000033C/0x3001033C) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WUCPS | 外环补偿值
取值范围[0,32767] |

17.16.19.11 NFOCx_WUFIN (0x3000033E/0x3001033E) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_WUFIN | 外环最终值
取值范围[0,32767] |

17.16.20 爬坡寄存器

17.16.20.1 NFOCx_RATAR (0x300001E4/0x300101E4) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_RATAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

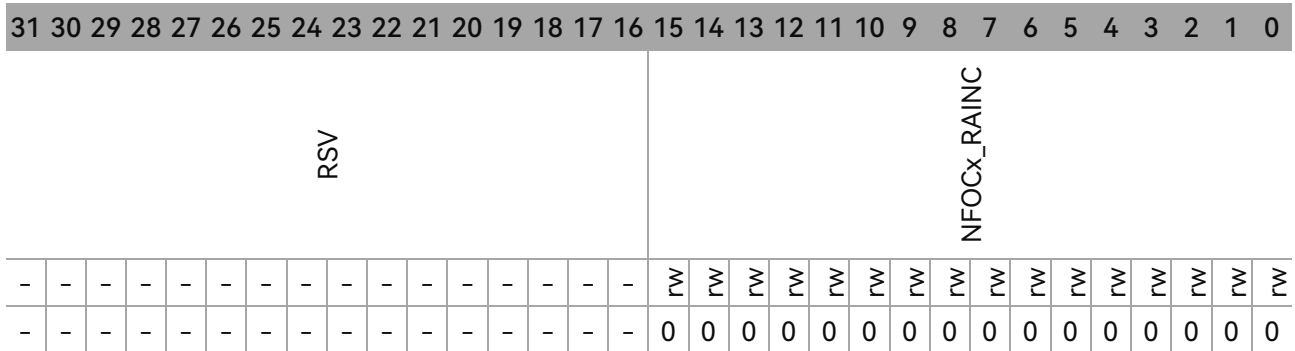
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_RATAR | 爬坡目标值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.20.2 NFOCx_RAOUT (0x300001E6/0x300101E6) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_RAOUT | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

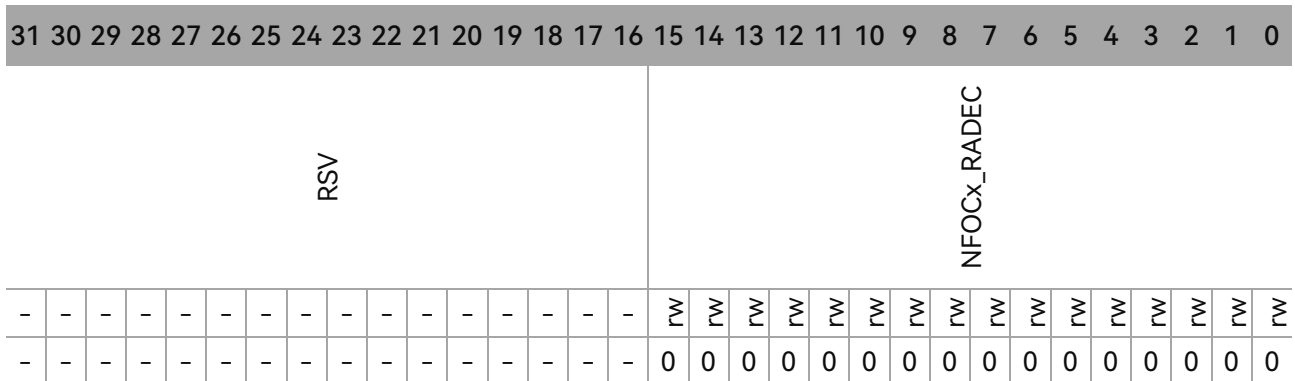
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_RAOUT | 爬坡输出值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.20.3 NFOCx_RAINC (0x300001E8/0x300101E8) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_RAINC | 向上增加的步进值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.20.4 NFOCx_RADEC (0x300001EA/0x300101EA) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_RADEC | 向下减少的步进值
取值范围[-32768,32767] |

17.16.21 电机保护寄存器

17.16.21.1 DRV_x_PER (CSR:0x544/0x584) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-------|-------|----------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | LOCK2 | LOCK1 | LOCK0 | ODCIF_EN | OSPD_AUTO | OVEL_AUTO | PL_AUTO | LOCK_AUTO | OVP_AUTO | SOCP_AUTO | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:11] | RSV | 保留 |
| [10] | LOCK2 | 堵转判断 2 使能
使能后，当电机转速与反电动势比值大于设定值时，堵转判断条件成立
0：不使能
1：使能 |
| [9] | LOCK1 | 堵转判断 1 使能
使能后，当电机转速大于设定的最大转速时，堵转判断条件成立
0：不使能
1：使能 |
| [8] | LOCK0 | 堵转判断 0 使能
使能后，当电机转速小于设定的最小转速时，堵转判断条件成立
0：不使能
1：使能 |
| [7] | ODCIF_EN | 载波中断超时保护使能
0：不使能
1：使能 |
| [6] | OSPD_AUTO | 速度过超自动计算使能，每个载波自动计算一次
0：不使能
1：使能 |
| [5] | OVEL_AUTO | 速度超差自动计算使能，每个外环自动计算一次
0：不使能
1：使能 |
| [4] | PL_AUTO | 缺相自动计算使能，一个电周期计算一次
0：不使能 |

| | | |
|-------|------------|--|
| | | 1: 使能 |
| [3] | LOCK_AUTO | 堵转自动计算使能，一个 SysTick 周期计算一次
0: 不使能
1: 使能 |
| [2:1] | OUPV_AUTO | 软件过欠压自动计算使能
00: 不使能
01: 一个载波周期计算一次
10: 一个 SysTick 周期计算一次
11: 无意义 |
| [0] | SOC_P_AUTO | 软件过流自动计算使能，一个载波周期计算一次
0: 不使能
1: 使能 |

17.16.21.2 DRVx_PTR (CSR:0x545/0x585) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|---------|-----|---|----------|----------|--------|----------|----------|-----------|--|--|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | RAMP_TRG | WPI_TRG | RSV | | OSPD_TRG | OVEL_TRG | PL_TRG | LOCK_TRG | OUPV_TRG | SOC_P_TRG | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | w1 | w1 | - | - | w1 | w1 | w1 | w1 | w1 | w1 | | | | | | |
| - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|-------------------------------------|
| [31:10] | RSV | 保留 |
| [9] | RAMP_TRG | 爬坡计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [8] | WPI_TRG | 外环计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [7:6] | RSV | 保留 |
| [5] | OSPD_TRG | 速度过超保护计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [4] | OVEL_TRG | 速度超差保护计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [3] | PL_TRG | 缺相计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [2] | LOCK_TRG | 堵转计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |

| | | |
|-----|-----------|-----------------------------------|
| [1] | OUIP_TRG | 过/欠压计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |
| [0] | SOC_P_TRG | 软件过流计算触发
写 1 触发一次计算，写 0 无效，读无效 |

17.16.21.3 DRVx_PSR (CSR:0x546/0x586) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|----------|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | CBA | | | RSV | | | IRF | ODCIF_IF | OSPD_IF | OVEL_IF | PL_IF | LK_IF | UVP_IF | OVP_IF | SOC_P_IF | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|---|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14:12] | CBA | 扇区
000: 无意义
001: II 扇区
010: VI 扇区
011: I 扇区
100: IV 扇区
101: III 扇区
110: V 扇区
111: 无意义 |
| [11:9] | RSV | 保留 |
| [8] | IRF | 电流基准异常状态 (不产生中断)
该位由硬件置 1，软件清 0
0: 无事件发生
1: 电流基准异常 |
| [7] | ODCIF_IF | 载波中断超时中断标记
该位由硬件置 1，由软件清 0
0: 无事件发生
1: 载波中断超时中断产生 |
| [6] | OSPD_IF | 速度过超中断标记
该位由硬件置 1，由软件清 0
0: 无事件发生
1: 速度过超中断产生 |

| | | |
|-----|---------|--|
| [5] | OVEL_IF | 速度超差中断标记
该位由硬件置 1，由软件清 0
0: 无事件发生
1: 速度超差中断产生 |
| [4] | PL_IF | 缺相中断标记
该位由硬件置 1，由软件清 0
0: 无事件发生
1: 缺相中断产生 |
| [3] | LK_IF | 堵转中断标记
该位由硬件置 1，软件清 0
0: 无事件发生
1: 堵转中断产生 |
| [2] | UVP_IF | 欠压中断标记
该位由硬件置 1，软件清 0
0: 无事件发生
1: 欠压中断产生 |
| [1] | OVP_IF | 过压中断标记
该位由硬件置 1，软件清 0
0: 无事件发生
1: 过压中断产生 |
| [0] | SOCP_IF | 软件过流中断标记
该位由硬件置 1，软件清 0
0: 无事件发生
1: 软件过流中断产生 |

17.16.21.4 NFOCx_IRLOW (0x30000010/0x30010010) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IRLOW | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----|----|
| [31:16] | RSV | 保留 |

| | | |
|--------|-------------|----------------------------------|
| [15:0] | NFOCx_IRLOW | 电流基准下限，超出后报基准异常
取值范围[0,32767] |
|--------|-------------|----------------------------------|

17.16.21.5 NFOCx_IRUPP (0x30000012/0x30010012) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_IRUPP | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_IRUPP | 电流基准上限，超出后报基准异常
取值范围[0,32767] |

17.16.21.6 NFOCx_OVP (0x30000014/0x30010014) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_OVP | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-----------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_OVP | 过压阈值
取值范围[0,32767] |

17.16.21.7 NFOCx_OVPARR (0x30000016/0x30010016) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_OVPARR | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_OVPARR | 过压次数目标值
取值范围[0,255] |

17.16.21.8 NFOCx_OVPCNT (0x30000017/0x30010017) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_OVPCNT | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------------|------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_OVPCNT | 过压次数计数值
取值范围[0,255] |

17.16.21.9 NFOCx_UVP (0x30000018/0x30010018) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UVP | | | | | | | | | | | | | | | | | |

取值范围[0,255]

17.16.21.12 NFOCx_SOCP (0x3000001C/0x3001001C) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_SOCP | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_SOCP | 软件过流阈值
取值范围[0,32767] |

17.16.21.13 NFOCx_SOCPARR (0x3000001E/0x3001001E) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_SOCPARR | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------------|--------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_SOCPARR | 软件过流次数目标值
取值范围[0,255] |

17.16.21.14 NFOCx_SOCPCNT (0x3000001F/0x3001001F) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_SOCPCNT | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

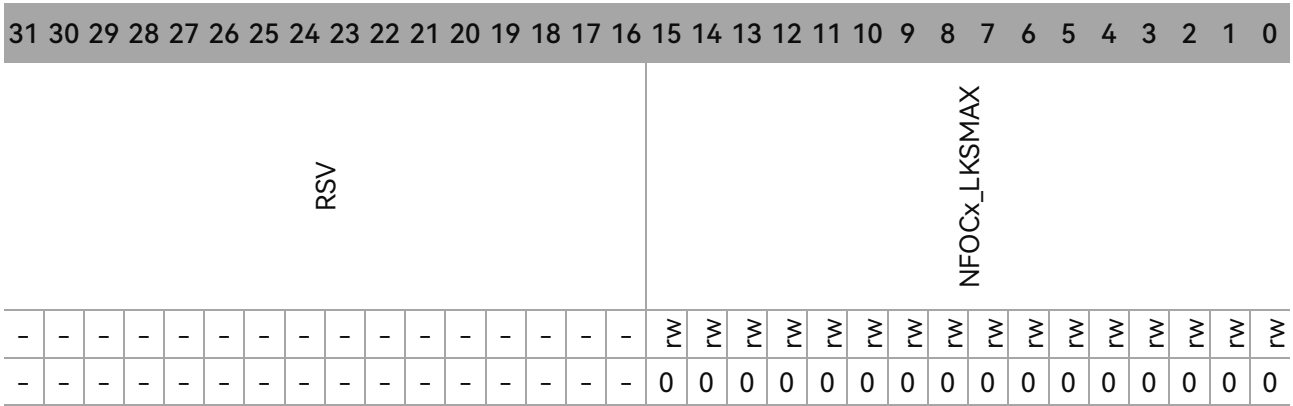
| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------------|--------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | NFOCx_SOCPCNT | 软件过流次数计数值
取值范围[0,255] |

17.16.21.15 NFOCx_LKSMIN (0x30000020/0x30010020) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_LKSMIN | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

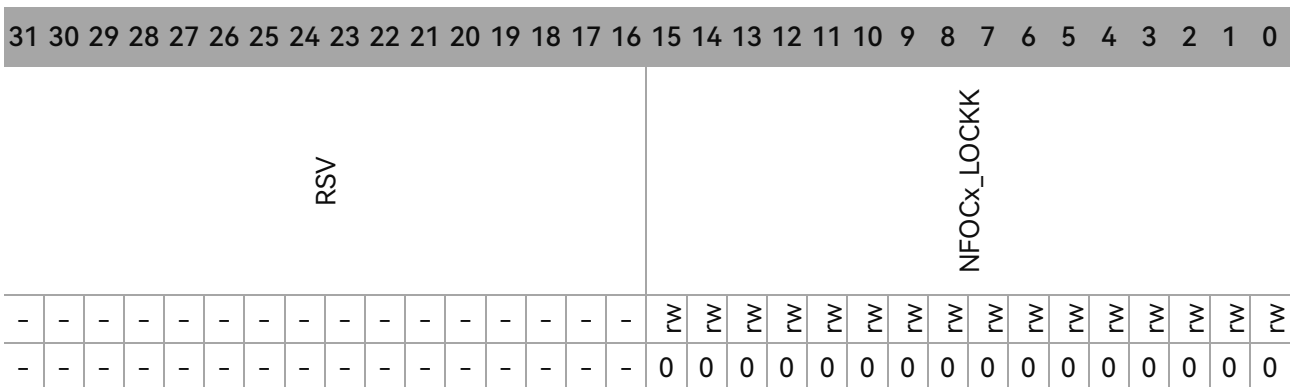
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LKSMIN | LOCK0 对应的最小堵转速度
取值范围[0,32767] |

17.16.21.16 NFOCx_LKSMAX (0x30000022/0x30010022) (x = 1/2)



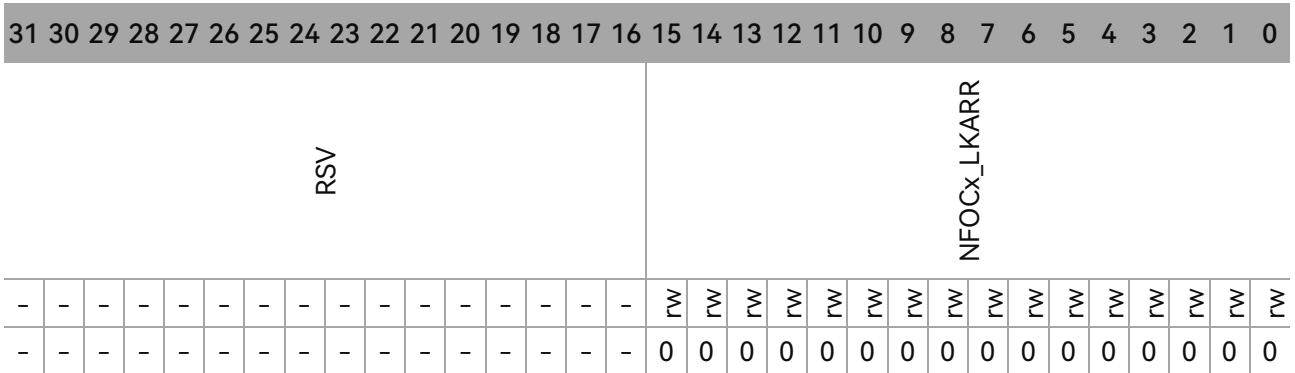
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LKSMAX | LOCK1 对应的最大堵转速度
取值范围[0,32767] |

17.16.21.17 NFOCx_LOCKK (0x30000024/0x30010024) (x = 1/2)



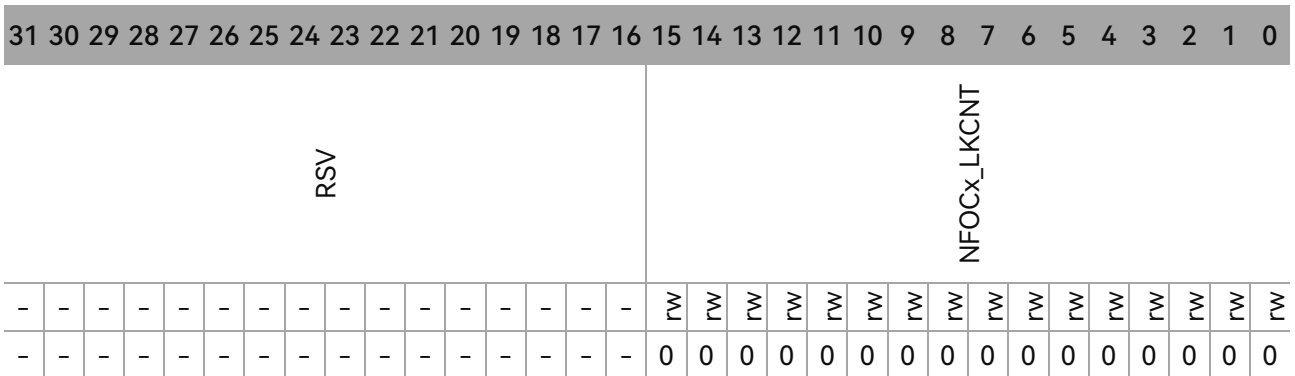
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LOCKK | LOCK2 对应的速度和 BEMF 系数，Q8 格式
取值范围[0,32767] |

17.16.21.18 NFOCx_LKARR (0x30000028/0x30010028) (x = 1/2)



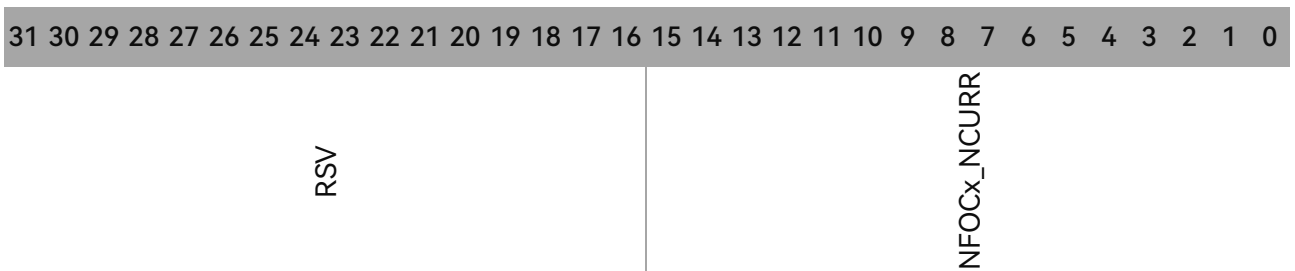
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LKARR | 堵转次数目标值，三种堵转模式共用
取值范围[0,65535] |

17.16.21.19 NFOCx_LKCNT (0x3000002A/0x3001002A) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_LKCNT | 堵转次数计数值，三种堵转模式共用
取值范围[0,65535] |

17.16.21.20 NFOCx_NCURRE (0x3000002C/0x3001002C) (x = 1/2)



17.16.22 CORDIC 寄存器

17.16.22.1 ME_COR (CSR:0x50C)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | COR7 | COR6 | COR5 | COR4 | COR3 | COR2 | COR1 | COR0 | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | RW | RW | RW | RW | RW | RW | RW | RW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------|---|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | COR7 | 软件调用 CORDIC7 使能
0: 不使能
1: 使能

软件调用 CORDIC7 计算 atan 和平方根步骤为:
1. 软件填写 NFOC2_XI3、NFOC2_YI3;
2. 软件将此位置 1;
3. CORDIC 运算完成, 此位硬件置 0, 软件从 NFOC2_US3 和 NFOC2_THETA3 读 CORDIC 计算结果。 |
| [6] | COR6 | 软件调用 CORDIC6 使能
0: 不使能
1: 使能

软件调用 CORDIC6 计算 atan 和平方根步骤为:
1. 软件填写 NFOC2_XI2、NFOC2_YI2;
2. 软件将此位置 1;
3. CORDIC 运算完成, 此位硬件置 0, 软件从 NFOC2_US2 和 NFOC2_THETA2 读 CORDIC 计算结果。 |
| [5] | COR5 | 软件调用 CORDIC5 使能
0: 不使能
1: 使能

软件调用 CORDIC5 计算 sin 和 cos 步骤为:
1. 软件填写 NFOC2_XI1、NFOC2_YI1 和 NFOC2_THETA1;
2. 软件将此位置 1; |

| | | |
|-----|------|--|
| | | 3. CORDIC 运算完成，此位硬件置 0，软件从 NFOC2_XO1 和 NFOC2_YO1 读 CORDIC 计算结果。 |
| [4] | COR4 | <p>软件调用 CORDIC4 使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>软件调用 CORDIC4 计算 sine 和 cosine 步骤为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 软件填写 NFOC2_XI0、NFOC2_YI0 和 NFOC2_THETA0; 2. 软件将此位置 1; 3. CORDIC 运算完成，此位硬件置 0，软件从 NFOC2_XO0 和 NFOC2_YO0 读 CORDIC 计算结果。 |
| [3] | COR3 | <p>软件调用 CORDIC3 使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>软件调用 CORDIC3 计算 atan 和平方根步骤为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 软件填写 NFOC1_XI3、NFOC1_YI3; 2. 软件将此位置 1; 3. CORDIC 运算完成，此位硬件置 0，软件从 NFOC1_US3 和 NFOC1_THETA3 读 CORDIC 计算结果。 |
| [2] | COR2 | <p>软件调用 CORDIC2 使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>软件调用 CORDIC2 计算 atan 和平方根步骤为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 软件填写 NFOC1_XI2、NFOC1_YI2; 2. 软件将此位置 1; 3. CORDIC 运算完成，此位硬件置 0，软件从 NFOC1_US2 和 NFOC1_THETA2 读 CORDIC 计算结果。 |
| [1] | COR1 | <p>软件调用 CORDIC1 使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>软件调用 CORDIC1 计算 sine 和 cosine 步骤为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 软件填写 NFOC1_XI1、NFOC1_YI1 和 NFOC1_THETA1; 2. 软件将此位置 1; 3. CORDIC 运算完成，此位硬件置 0，软件从 NFOC1_XO1 和 NFOC1_YO1 |

| | | |
|-----|------|--|
| | | 读 CORDIC 计算结果。 |
| [0] | COR0 | <p>软件调用 CORDIC0 使能</p> <p>0: 不使能</p> <p>1: 使能</p> <p>软件调用 CORDIC0 计算 sine 和 cosine 步骤为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 软件填写 NFOC1_XI0、NFOC1_YI0 和 NFOC1_THETA0; 2. 软件将此位置 1; 3. CORDIC 运算完成, 此位硬件置 0, 软件从 NFOC1_XO0 和 NFOC1_YO0 读 CORDIC 计算结果。 |

17.16.22.2 NFOCx_XI0 (0x30000030/0x30010030) (x=1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_XI0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XI0 | CORDIC0 (CORDIC4) 的 X 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.3 NFOCx_YI0 (0x30000032/0x30010032) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_YI0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | Ꞥ | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_YI0 | CORDIC0 (CORDIC4) 的 Y 轴输入 |

取值范围[-32768,32767]

17.16.22.4 NFOCx_THETA0 (0x30000036/0x30010036) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_THETA0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_THETA0 | CORDIC0 (CORDIC4) 的角度输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.5 NFOCx_XO0 (0x30000038/0x30010038) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_XO0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XO0 | CORDIC0 (CORDIC4) 的 X 轴输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.6 NFOCx_Y00 (0x3000003A/0x3001003A) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_Y00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_Y00 | CORDIC0 (CORDIC4) 的 Y 轴输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.7 NFOCx_XI1 (0x3000003C/0x3001003C) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_XI1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

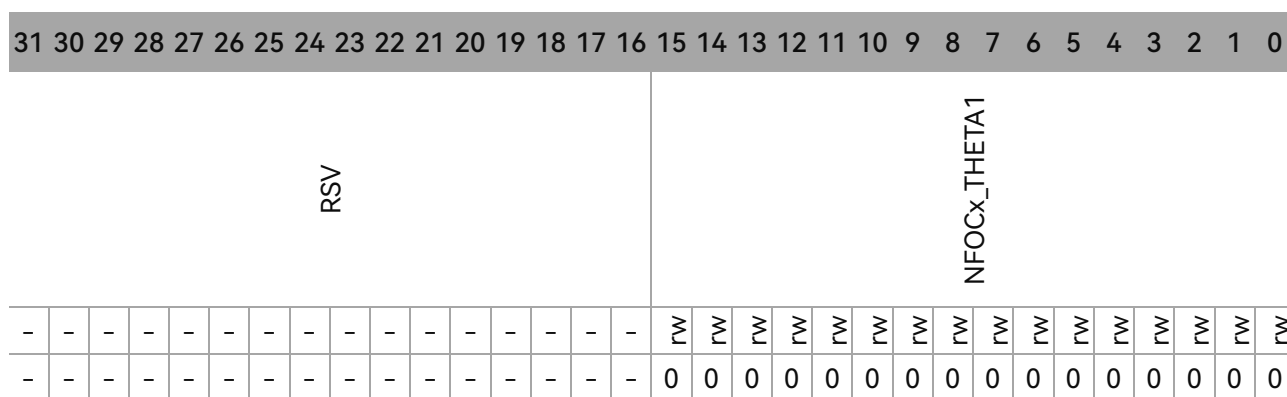
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XI1 | CORDIC1 (CORDIC5) 的 X 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.8 NFOCx_YI1 (0x3000003E/0x3001003E) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_YI1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

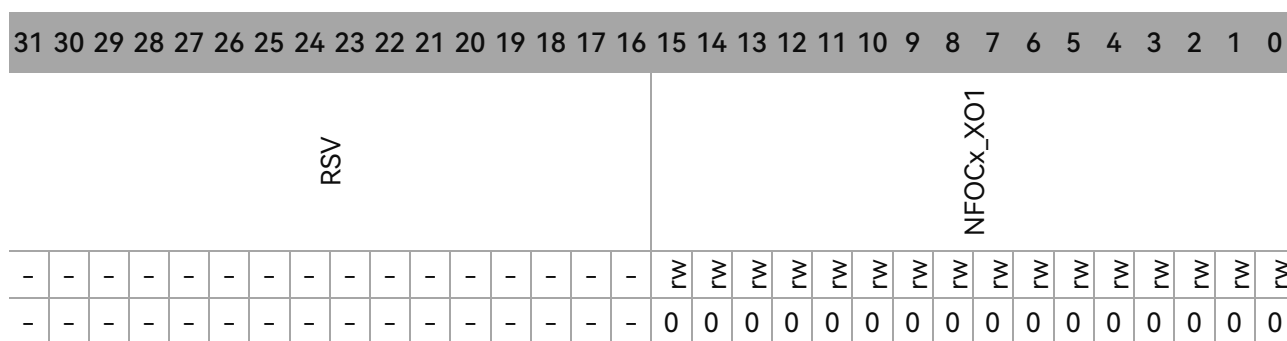
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_YI1 | CORDIC1 (CORDIC5) 的 Y 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.9 NFOCx_THETA1 (0x30000042/0x30010042) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_THETA1 | CORDIC1 (CORDIC5) 的角度输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.10 NFOCx_XO1 (0x30000044/0x30010044) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XO1 | CORDIC1 (CORDIC5) 的 X 轴输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.11 NFOCx_YO1 (0x30000046/0x30010046) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_YO1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_YO1 | CORDIC1 (CORDIC5) 的 Y 轴输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.12 NFOCx_XI2 (0x30000048/0x30010048) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_XI2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XI2 | CORDIC2 (CORDIC6) 的 X 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.13 NFOCx_YI2 (0x3000004A/0x3001004A) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_YI2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_YI2 | CORDIC2 (CORDIC6) 的 Y 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.14 NFOCx_US2 (0x3000004C/0x3001004C) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_US2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_US2 | CORDIC2 (CORDIC6) 的平方根输出
取值范围[0,32767] |

17.16.22.15 NFOCx_THETA2 (0x3000004E/0x3001004E) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_THETA2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_THETA2 | CORDIC2 (CORDIC6) 的 atan 输出
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.16 NFOCx_XI3 (0x30000050/0x30010050) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_XI3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_XI3 | CORDIC3 (CORDIC7) 的 X 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.17 NFOCx_YI3 (0x30000052/0x30010052) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_YI3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

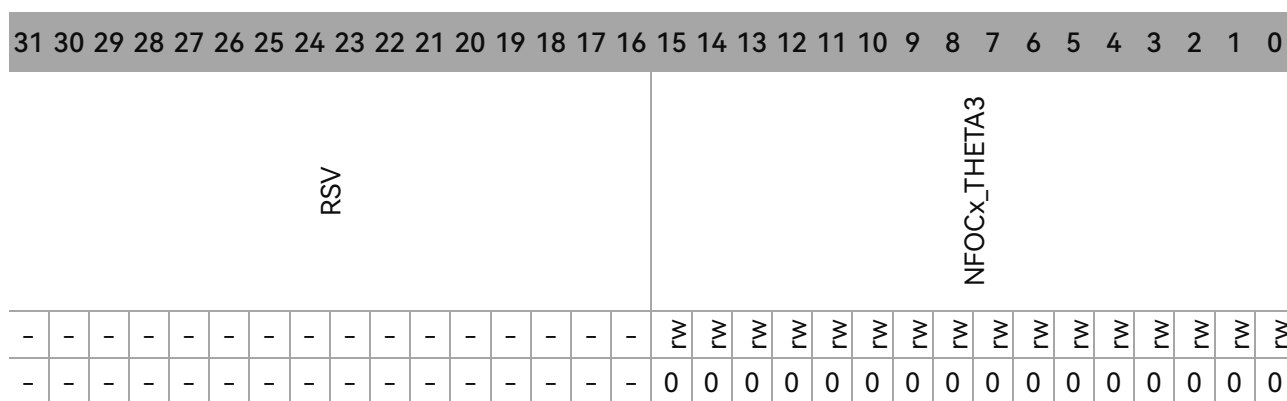
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_YI3 | CORDIC3 (CORDIC7) 的 Y 轴输入
取值范围[-32768,32767] |

17.16.22.18 NFOCx_US3 (0x30000054/0x30010054) (x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_US3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_US3 | CORDIC3 (CORDIC7) 的平方根输出
取值范围[-32768,32767] |

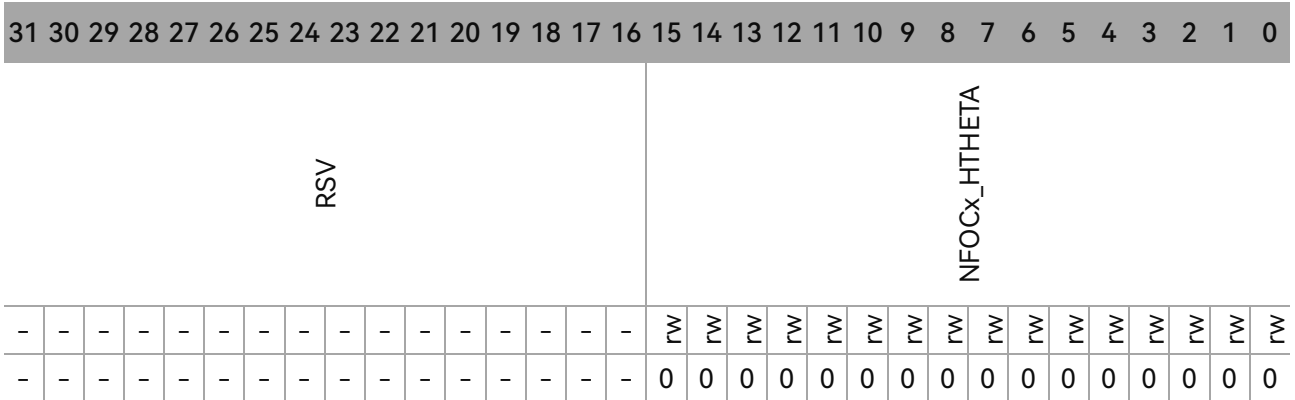
17.16.22.19 NFOCx_THETA3 (0x30000056/0x30010056) (x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_THETA3 | CORDIC3 (CORDIC7) 的 atan 输出
取值范围[-32768,32767] |

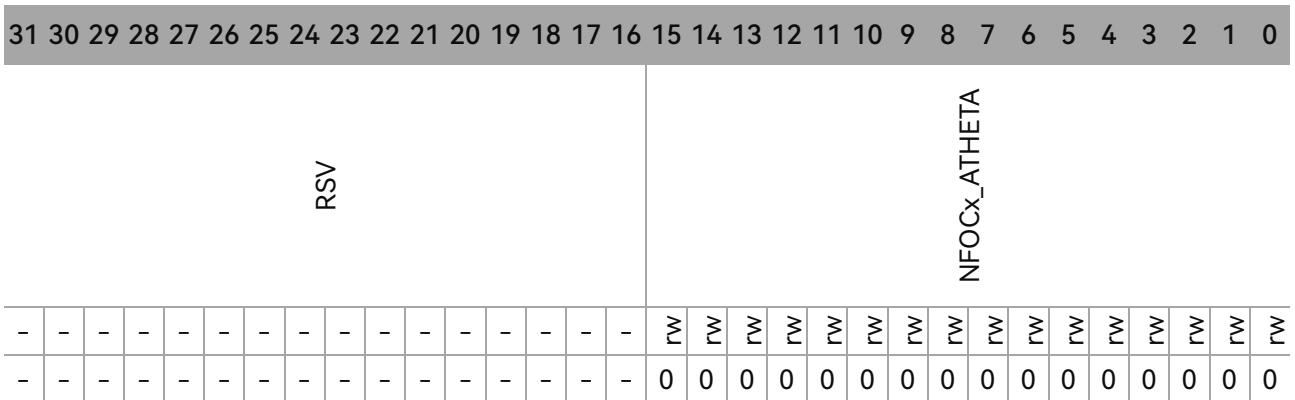
17.16.23 角度融合寄存器

17.16.23.1 NFOCx_HTHETA (0x30000116/0x30010116)(x = 1/2)



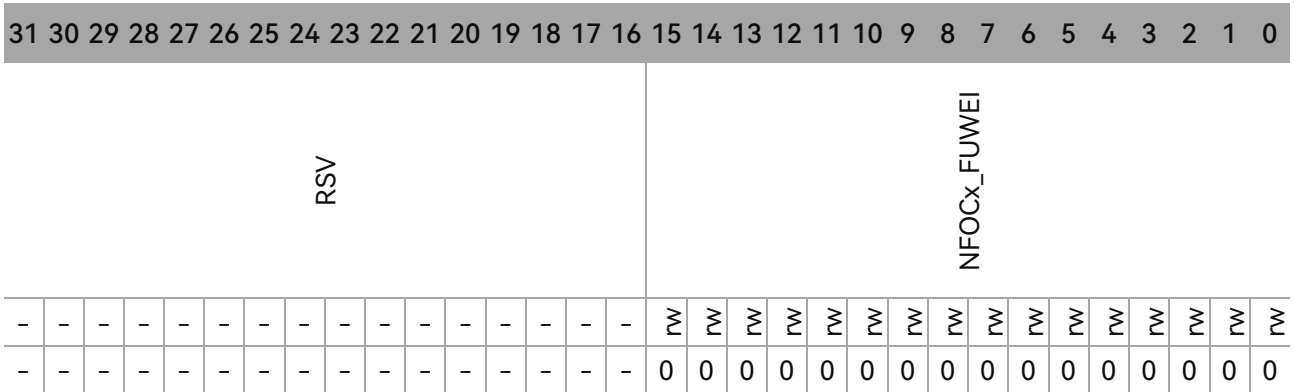
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_HTHETA | 由 NFOCx_HALPHA 及 NFOCx_HBETA 反正切得到的角度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.23.2 NFOCx_ATHETA (0x300001E2/0x300101E2)(x = 1/2)



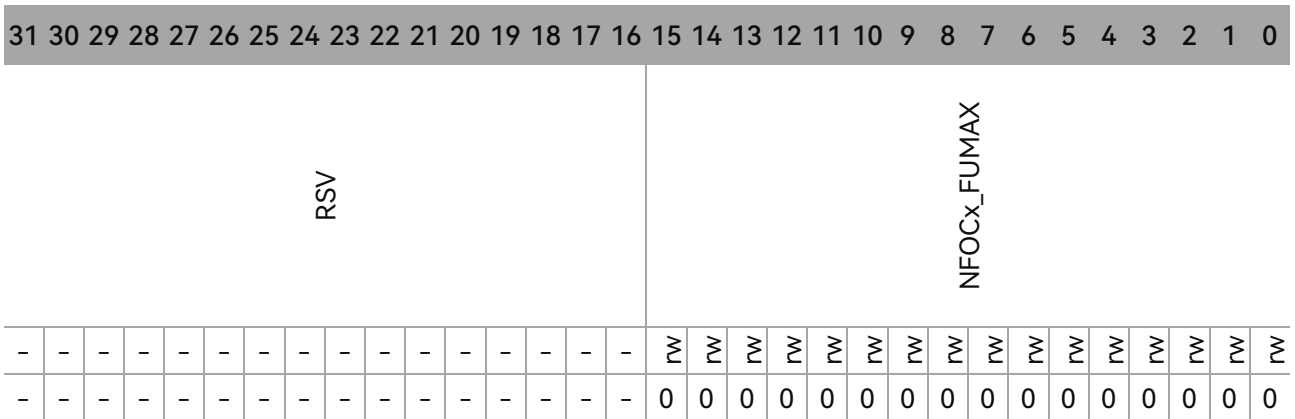
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_ATHETA | 由 NFOCx_EALPHA 及 NFOCx_EBETA 反正切得到的角度
取值范围[-32768,32767] |

17.16.23.3 NFOCx_FUWEI (0x3000021A/0x3001021A)(x = 1/2)



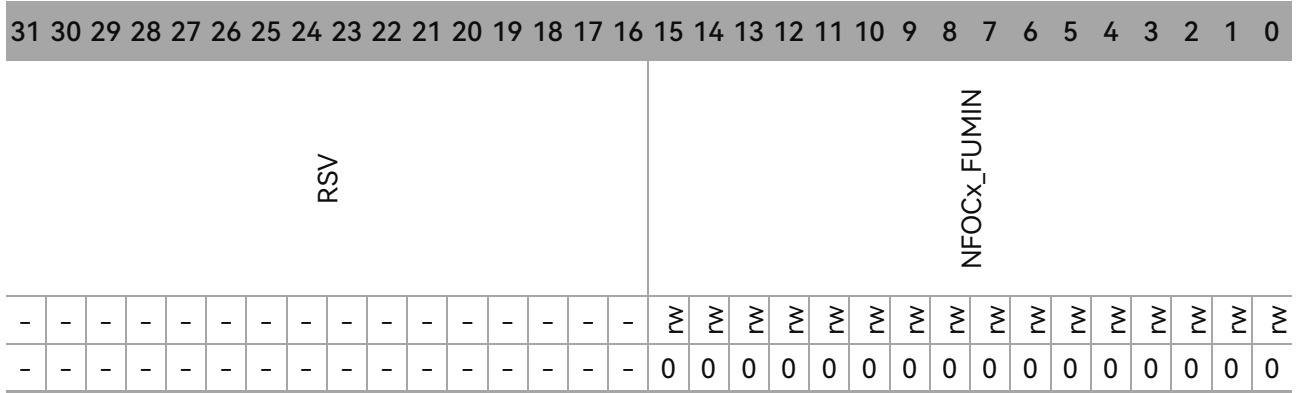
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FUWEI | 角度融合时 HFI 角度的权重系数或权重值
DRVx_FCR5[ANGFU_MAEN] = 1 时，为 HFI 角度的权重值，Q15 格式
取值范围[0,32767];
DRVx_FCR5[ANGFU_MAEN] = 0 时，为 HFI 角度的权重系数，Q6 格式
取值范围[0,64] |

17.16.23.4 NFOCx_FUMAX (0x300003E8/0x300103E8)(x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FUMAX | 角度融合速度判断 MAX 值 |

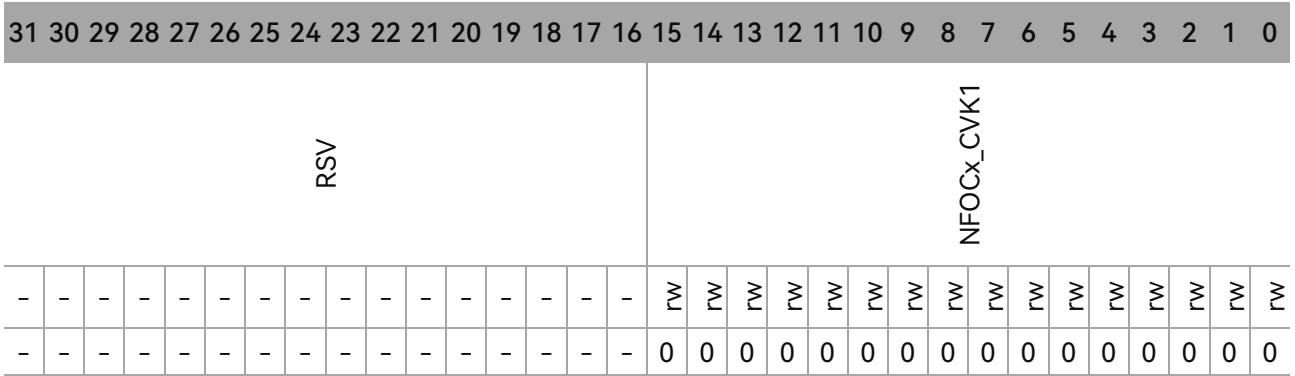
17.16.23.5 NFOCx_FUMIN (0x300003EA/0x300103EA)(x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|----------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_FUMIN | 角度融合速度判断 MIN 值 |

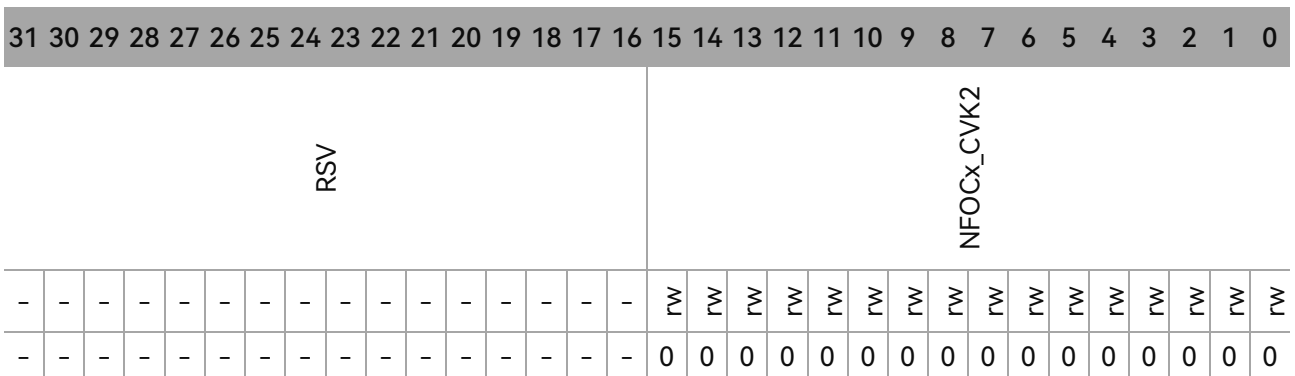
17.16.24 电流环解耦寄存器

17.16.24.1 NFOCx_CVK1 (0x300003CC/0x300103CC)(x = 1/2)



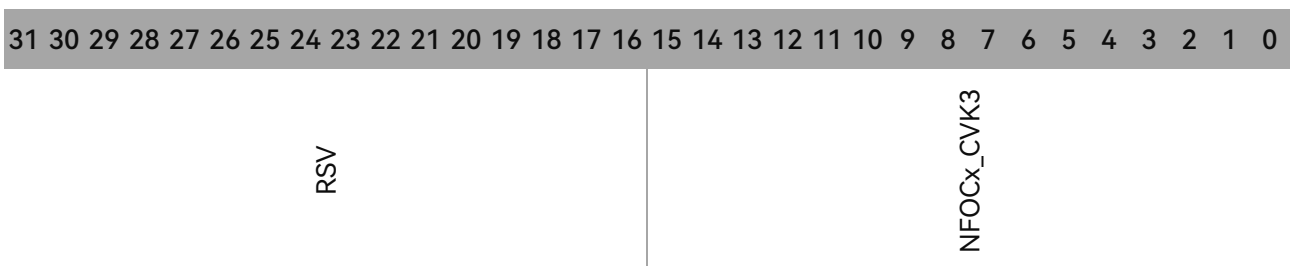
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVK1 | 解耦控制器参数 1 |

17.16.24.2 NFOCx_CVK2 (0x300003E0/0x300103E0)(x = 1/2)

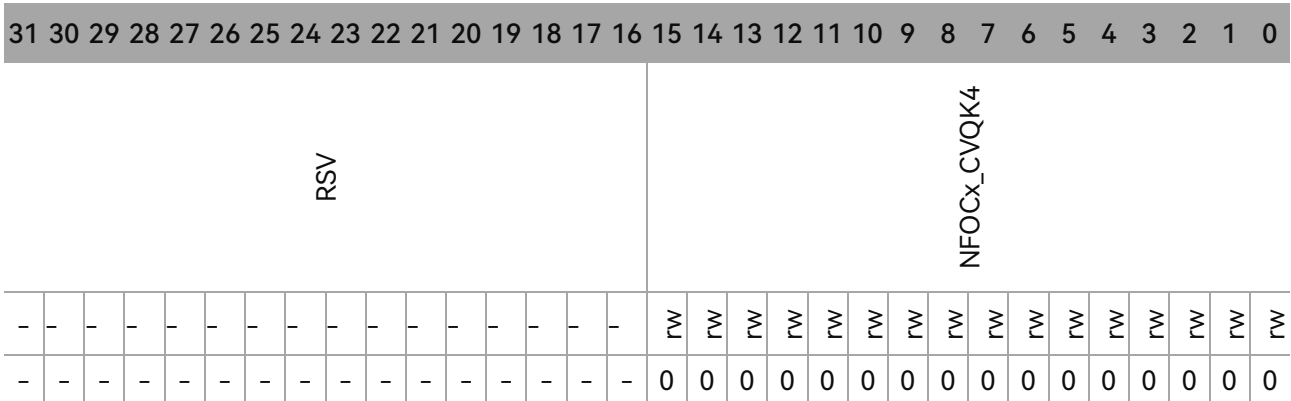


| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVK2 | 解耦控制器参数 2 |

17.16.24.3 NFOCx_CVK3 (0x300003CE/0x300103CE)(x = 1/2)

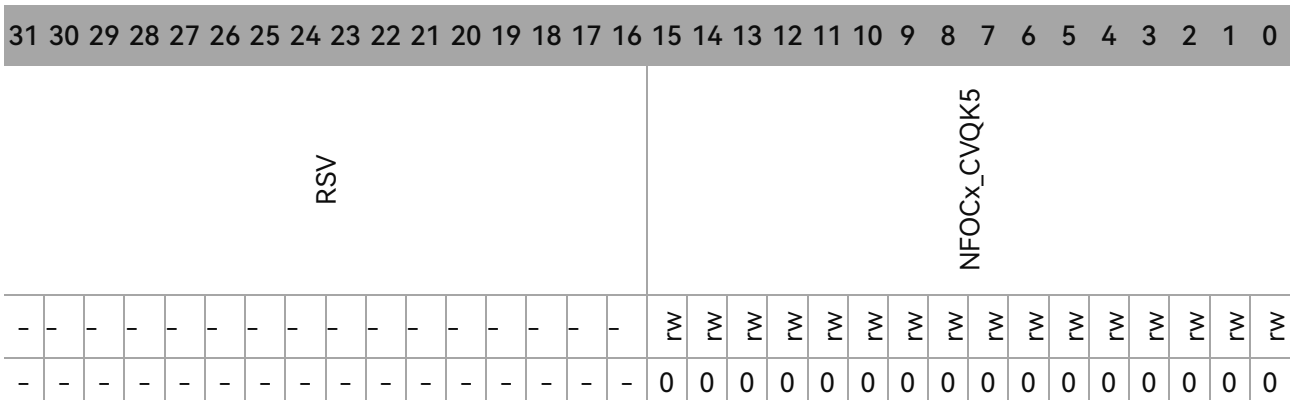


17.16.24.6 NFOCx_CVQK4 (0x300003D2/0x300103D2)(x = 1/2)



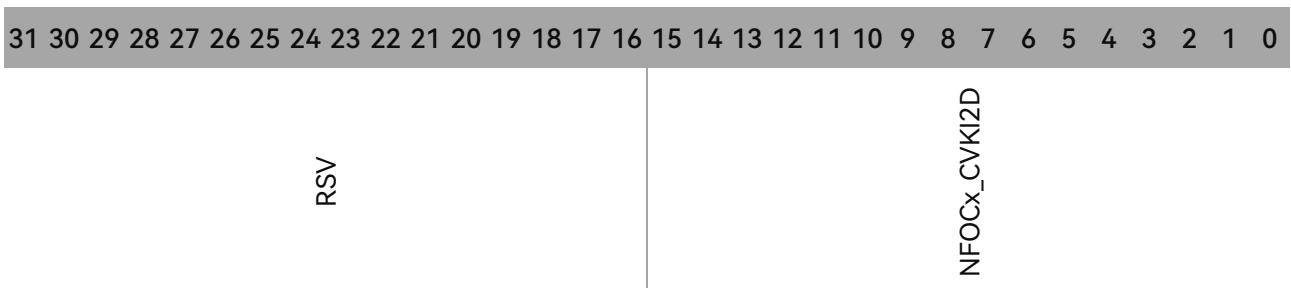
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVQK4 | 解耦控制器 q 轴参数 4 |

17.16.24.7 NFOCx_CVQK5 (0x300003D6/0x300103D6)(x = 1/2)



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVQK5 | 解耦控制器 q 轴参数 5 |

17.16.24.8 NFOCx_CVKI2D (0x30000112/0x30010112)(x = 1/2)



17.16.24.11 NFOCx_CVQULO (0x3000032A/0x3001032A)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_CVQULO | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-------------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVQULO | 解耦控制器 q 轴逆变器输出限制 (软件更新) |

17.16.24.12 NFOCx_UDCMAX (0x300003E4/0x300103E4)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UDCMAX | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCMAX | 解耦控制器 UDC 限幅 MAX |

17.16.24.13 NFOCx_UDCMIN (0x300003E6/0x300103E6)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UDCMIN | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|------------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCMIN | 解耦控制器 UDC 限幅 MIN |

17.16.24.14 NFOCx_UDCLIM (0x300003E2/0x300103E2)(x = 1/2)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_UDCLIM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_UDCLIM | 解耦控制器 UDC 输出 |

17.16.24.15 NFOCx_CVDUK (0x30000110/0x30010110)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_CVDUK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVDUK | 复矢量解耦计算参数 |

17.16.24.16 NFOCx_CVKI2D (0x30000112/0x30010112)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_CVKI2D | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVKI2D | 复矢量解耦计算参数 |

17.16.24.17 NFOCx_CVQUK (0x30000130/0x30010130)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_CVQUK | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_CVQUK | 复矢量解耦计算参数 |

17.16.24.18 NFOCx_DCOM (0x300003D8/0x300103D8)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_DCOM | | | | | | | | | | | | | | | |

17.16.24.21 NFOCx_QAS (0x300003DE/0x300103DE)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_QAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|-----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_QAS | 复矢量解耦计算参数 |

17.16.24.22 NFOCx_DUKF (0x300003F4/0x300103F4)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_DUKF | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|-------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | NFOCx_DUKF | 解耦控制器 d 轴输出 |

17.16.24.23 NFOCx_QUKF (0x300003F6/0x300103F6)(x = 1/2)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | NFOCx_QUKF | | | | | | | | | | | | | | | |

18 Systick

18.1 Systick 操作说明

芯片可产生固定时间的 Systick 中断。配置 SYST_ARR 寄存器设置产生中断的周期，配置 SYST_SR[SYSTIE] = 1 使能 Systick 中断，中断入口为 15。

18.2 Systick 寄存器

18.2.1 SYST_ARR (CSR:0x440)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | SYST_ARR | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | r | r | r |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|----------|---|
| [31:9] | RSV | 保留 |
| [8:0] | SYST_ARR | Systick 重载值
设置此值决定 Systick 产生中断的周期，默认为 1ms
计算公式为: Systick 中断频率 = SYSCLK/128 / (SYST_ARR[8:0])
取值范围[1, 511] |

18.2.2 SYST_SR (CSR:0x441)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|--------|--------|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | SYSTIF | SYSTIE | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---|----|----|
|---|----|----|

| [31:2] | RSV | 保留 |
|--------|--------|--|
| [1] | SYSTIF | Systick 中断事件标志位
读:
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0
1: 无意义 |
| [0] | SYSTIE | Systick 中断使能
0: 不使能
1: 使能 |

19 时钟

19.1 时钟简介

时钟包含三个时钟源: 内部快时钟、PLL 时钟、内部慢时钟。系统时钟工作在内部快时钟或 PLL 时钟, 其中 PLL 时钟源来自内部快时钟; PLL 时钟外部输入源来自于芯片外部有源时钟输入或者外部晶体振荡模式; 内部慢时钟用于看门狗时钟, 可配置看门狗的溢出时间; 外部慢时钟用于 RTC 计数。

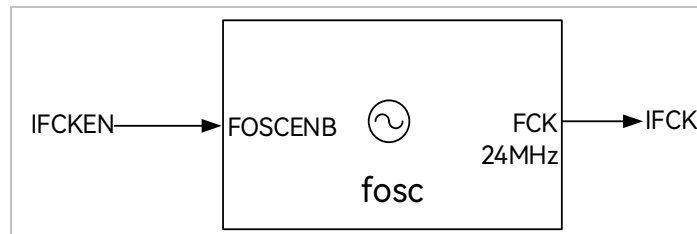
表 19-1 系统时钟工作模式选择

| 系统时钟工作模式 | PLLSRC | FCKMOD | ECMOD | PLLFSEL |
|-----------------|--------|--------|-------|---------|
| 内部快时钟 (24M) | 0 | 0 | 0(X) | 0(X) |
| PLL 24M (内部快时钟) | 0 | 1 | 0(X) | 1 |
| PLL 48M (内部快时钟) | 0 | 1 | 0(X) | 0 |

19.2 时钟操作说明

19.2.1 内部快时钟操作说明

图 19-1 内部快时钟的输入输出相关信号

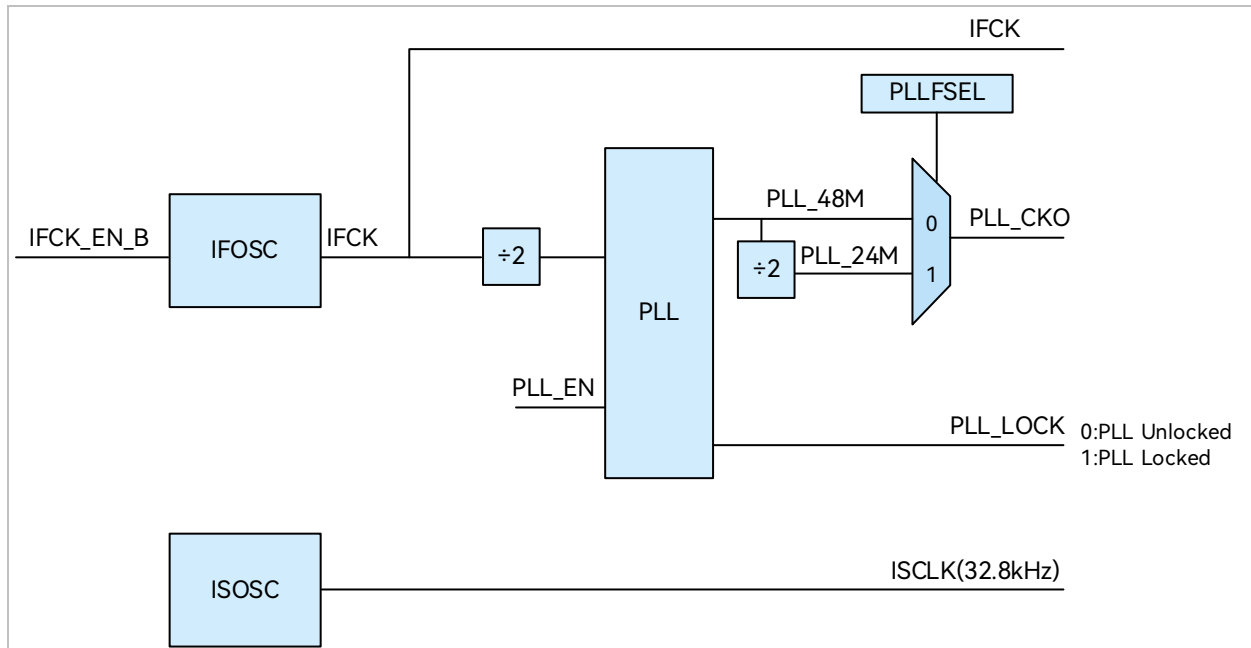


内部快时钟的输入输出端的情况如图 19-1 所示。内部快时钟的作用是产生频率为 24MHz 的精准时钟。如图 19-3 所示, 勾选 System Clk Setting 中的 Internal CLK, 启动内部快时钟。睡眠模式下(PCON[STOP] = 1), 内部快时钟不工作。

19.2.2 PLL 时钟操作说明

PLL 时钟源来自内部快时钟，如下图所示。

图 19-2 PLL 时钟框图



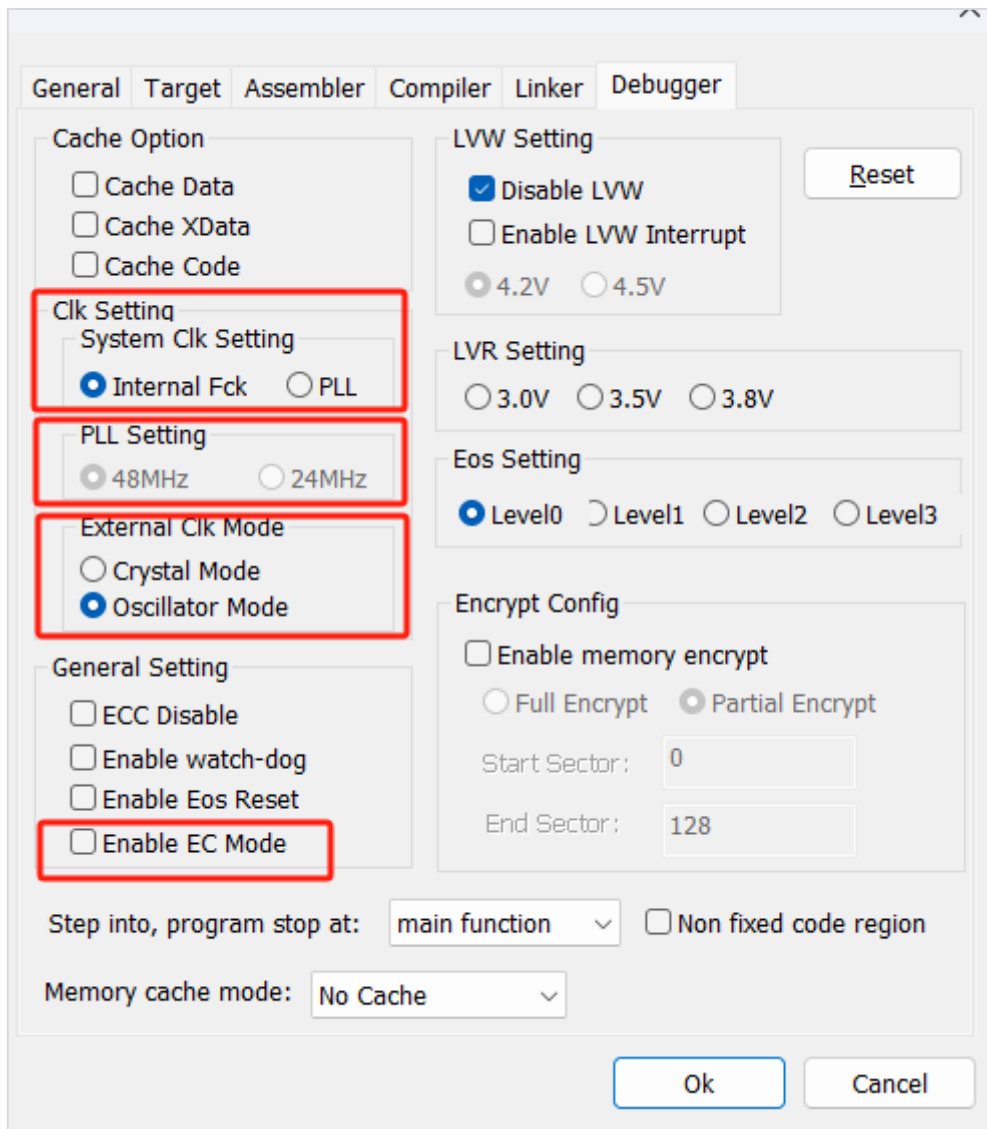
19.2.2.1 PLL 时钟来自内部快时钟

如图 19-3 所示，勾选 System Clk Setting 中的 PLL 或者软件配置 `OSC_CR[PLLEN] = 1`，使能 PLL 时钟，勾选 PLL Setting 中的 48M 或者 24M 选择 PLL 的时钟频率。

MCDRET 是清 OST 计数器的信号，高电平有效，当晶体电路作为晶体模式启动时，OST 计数器会计数 1024 个时钟，等待时钟稳定后 EFCK 输出时钟。当晶体电路工作在外部时钟输入模式，OST 不生效。

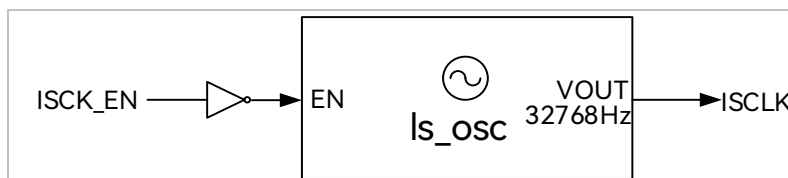
OST 计数器在晶体电路没有使能时硬件自动清 0，MCDRET 是用于时钟缺失时，系统自动切换时钟至内部时钟，然后软件重新切换时钟至外部时钟时需要清除 OST 计数器，此时需要往 MCDRET 送高脉冲。

图 19-3 系统时钟配置



19.2.2.2 内部慢时钟操作说明

图 19-4 内部慢时钟 ISOSC 端口的输入输出情况



内部慢时钟的端口情况如图 19-4 所示。内部慢时钟的作用是产生 32768Hz 的频率的时钟信号。睡眠模式下(PCON[STOP] = 1)，内部慢时钟不工作。

19.2.3 时钟寄存器

19.2.3.1 CCFG2 (CSR:0xFFD)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-------|-------|--------|-----|---|---|--------|-----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | LVWPD | LVWIE | IWDTEN | RSV | | | FCKMOD | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | r/w | r/w | - | - | - | - | r/w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|---|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | LVWPD | 低电压预警
0: 使能
1: 不使能 |
| [6] | LVWIE | 低电压预警中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [5] | IWDTEN | 独立看门狗使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [4:1] | RSV | 保留 |
| [0] | FCKMOD | 系统时钟频率选择:
0: 系统时钟为内部振荡器时钟, 24MHz
1: 系统时钟为 PLL 时钟, PLL 时钟频率可配置, 配置频率由 FCKMOD, CCFG3[PLLFSEL]决定 |

19.2.3.2 CCFG3 (CSR:0xFFC)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|----|----|--------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|------------|-----|----|----|----|----|--------|-----|-----|------------|---|-----------|-----|-------|---------|-----|-----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| EOSSET | | | | RSV | | | LVRSEL | | RSV | | | | | | | EOS_RST_EN | RSV | | | | | LWVSEL | RSV | | XT_CUR_CFG | | XT_GF_CFG | | ECMOD | PLLFSEL | | |
| r/w | r/w | r/w | r/w | - | - | - | r/w | r/w | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | - | - | - | - | - | - | r/w | - | - | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|--|
| [31:28] | EOSSET | 电过应力等级设置，默认配置为 0000
等级越低，检测灵敏度越低
00: 等级 0，灵敏度最低
01: 等级 1
10: 等级 2
11: 等级 3，灵敏度最高 |
| [27:25] | RSV | 保留 |
| [24:23] | LVRSEL | 低电压复位电压选择。低电压复位检测的是 VDD5 的电压
00: 3.0V
01: 无意义
10: 3.5V
11: 3.8V |
| [22:16] | RSV | 保留 |
| [15] | EOS_RST_EN | EOS 电过度应力复位使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [14:9] | RSV | 保留 |
| [8] | LVWSEL | VDD5 低电压预警电压选择
0: 4.2V
1: 4.5V |
| [7:6] | RSV | 保留 |
| [5:4] | XT_CUR_CFG | 晶体电路驱动能力配置
10: 弱，用于 0MHz ~ 12MHz 晶体(0.32mA)
11: 中，用于 4MHz ~ 24MHz 晶体(0.64mA)
00: 强，用于 16MHz ~ 24MHz 晶体(1.28mA)
01: 最强，用于 ≥24MHz 晶体(2.56mA) |
| [3:2] | XT_GF_CFG | 时钟电路毛刺滤波选择
00: 时钟电路毛刺滤波 0
01: 时钟电路毛刺滤波 1 |
| [1] | ECMOD | 外部时钟源选择方式
0: 选择外部时钟为晶体模式
1: 选择外部时钟为有源时钟输入模式 |
| [0] | PLLFSEL | PLL 时钟频率选择，如果系统时钟选择的是外部晶体模式，外部晶体使用 12MHz 晶体
0: 48MHz
1: 24MHz |

19.2.3.3 OSC_CR (CSR:0x463)

| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|--------|--------|-----|---|---|---|-------|----|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MCDRET | PLLLIE | RSV | | | | PLLEN | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | w1 | rw | - | - | - | - | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|--|
| [31:7] | RSV | 保留 |
| [6] | MCDRET | 清 OST 计数器的信号
0: 无意义
1: 清 OST 计数器 |
| [5] | PLLLIE | PLL LOCK 锁相丢失中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [4:1] | RSV | 保留 |
| [0] | PLLEN | PLL 使能
0: 不使能
1: 使能 |

19.2.3.4 OSC_SR (CSR: 0x464)

| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----------|---------------|--------|-------|---|---|-----|-----|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | PLL_LOCK | PLLOCK_STATUS | PLLLIF | MCDIF | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | rw0 | rw0 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|----------|---|
| [31:4] | RSV | 保留 |
| [3] | PLL_LOCK | PLL LOCK 锁相完成标志位
0: PLL 时钟还未准备好
1: PLL 时钟输出 |

| | | |
|-----|--------------|--|
| [2] | PLLCK_STATUS | PLL 时钟源选择状态位
0: PLL 当前时钟来源于 IFCK
1: PLL 当前时钟来源于 EFCK |
| [1] | PLLLIF | PLL LOCK 锁相丢失中断标志位
0: 标志位清 0
1: 无意义 |
| [0] | MCDIF | MCDCLR 写 1 该标志位清 0 |

19.3 时钟校准

19.3.1 时钟校准简介

时钟校准是利用内部慢时钟校准内部快时钟的功能。校准原理：使用一个长度 14 位的计数器，以快时钟为时钟源，连续累积计数 8 个慢时钟周期的长度。

校准方法：


1. 软件设置CAL_CR[CALBSY] = 1，开始校准过程;
2. 读CAL_CR[CALBSY]标志位确认校准过程是否结束;
3. 当校准完成(CAL_CR[CALBSY] = 0)后，读取CAL_CR[CAL_ARR]的值，即使用快时钟连续累积计数8个慢时钟的值。

19.3.2 时钟校准寄存器

19.3.2.1 CAL_CR (CSR:0x462)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | CALBSY | RSV | CAL_ARR | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw1 | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|-----------------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15] | CALBSY | 时钟校准状态标志位
读: |

| | | |
|--------|---------|--|
| | | <p>0: 已完成时钟校准
1: 正在进行时钟校准</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义
1: 开始时钟校准</p> |
| [14] | RSV | 保留 |
| [13:0] | CAL_ARR | <p>校准计数值
使用快时钟连续累积计数 8 个慢时钟周期的值</p> <p> 备注:
当此值为 0 时表示无对应慢时钟输入, 当此值为 0x3FFF 时表示计数溢出(慢时钟过慢或快时钟过快)。</p> |

20 IWDT

独立看门狗定时器(IWDT)是一个工作在内部慢时钟时域下的定时器，主要用于监控主程序运行，防止MCU出现死机的情况。IWDT的工作原理是：启动独立看门狗后，IWDT的定时器开始计数。当IWDT溢出时，独立看门狗发送信号使MCU复位，程序从地址0开始运行。在主程序运行过程中，每隔一段时间对IWDT进行初始化，以防止IWDT溢出，俗称喂狗。

独立看门狗在启动后从0开始计时，当计时到0xFFFC时输出一个长度为4个内部慢时钟周期的信号使MCU复位，程序从地址0开始运行。程序在运行中定时给看门狗发送喂狗信号，IWDT将回到IWDT_REL的设定值，并重新开始计数。

20.1 IWDT 主要性能

- 自由运行的递增计数器
- 时钟由独立的RC振荡器提供（可在待机模式下工作）
- 独立看门狗被激活后，则在计数器计数至0xFFFC时产生复位
- IWDT溢出使MCU复位时，RST_SR[RSTWDT]将会置1

20.2 IWDT 操作说明

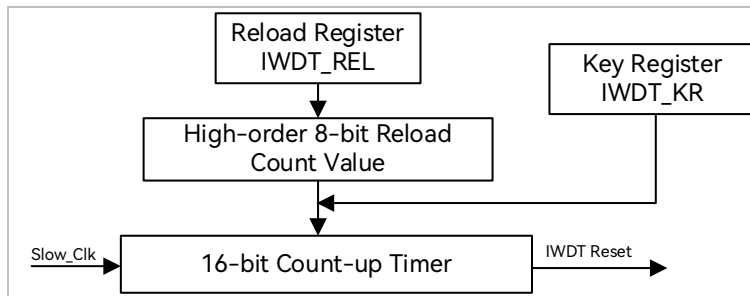
图 20-1 为独立看门狗模块的功能框图。

在键寄存器中写入 0xCCCC，开始启用独立看门狗：此时计数器开始从其复位值 0x0000 递增计数。当计数器计数到末尾 0xFFFC 时，会产生一个复位信号。

无论何时，只要在键寄存器写入 0xAAAA，IWDT_REL 中的值就会被重新加载到计数器，从而避免产生看门狗复位。

在键寄存器中写入 0x2222，则会关闭独立看门狗，同时计数器将停止计数。再次启动独立看门狗时，计数器清 0 重新开始计数。若 CPU idle 或者 stop 或者 halt，独立看门狗计数器将停止计数；当 CPU 恢复时，独立看门狗计数器在原基础上继续计数。

图 20-1 独立看门狗框图



20.3 硬件 IWDT

如果用户在工程配置中启用了独立看门狗功能，在系统上电复位后，独立看门狗会自动开始运行。如果在计数器计数结束前，软件没有向键寄存器写入复位指令或关闭指令，则系统会产生独立看门狗复位。

20.4 键寄存器访问保护

寄存器具有写保护功能。要修改 IWDT_KR 的值，必须先向 IWDT_KR 寄存器中写入 0x5555。以不同的值写入这个寄存器将会打乱操作顺序，寄存器将重新被保护。重载操作(即写入 0xAAAA)也会启动写保护功能。

状态寄存器指示预分频值和递减计数器是否正在被更新。

20.5 调试模式

用户进入调试模式时，独立看门狗计数器不会继续工作。

20.6 IWDT 寄存器

20.6.1 IWDT_KR (CSR:0x480)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | IWDT_KR | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---|----|----|
|---|----|----|

| | | |
|---------|---------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | IWDT_KR | <p>键值(只写寄存器, 读出值为 0x0000): 软件必须以一定的间隔写入 0xAAAA 进行喂狗, 否则, 当计数器为 0xFFFC 时, 看门狗会产生复位。</p> <p>写入 0x5555 解保护;</p> <p>写入 0xCCCC, 启动看门狗工作(若选择了硬件看门狗则不受此命令字限制);</p> <p>写入 0x2222 关闭看门狗。</p> |

20.6.2 IWDT_REL(CSR:0x481)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | WDT_REL | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|------------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | WDT_REL | 看门狗重载计数器, 设置看门狗计数器初始化值的高 8 位 |

21 WWDT

21.1 WWDT 简介

窗口看门狗(WWDT)通常被用来监测，由外部干扰或不可预见的逻辑条件造成的应用程序背离正常的运行序列而产生的软件故障。除非递减计数器的值在最高位 T6 位变成 0 之前被刷新，否则 WWDT 的电路在达到预置的时间周期时触发一个 MCU 复位。在递减计数器达到窗口寄存器数值之前，如果 7 位递减计数器数值被刷新，也会触发一个 MCU 复位。这表明递减计数器需要在有限的时间窗口内被刷新。

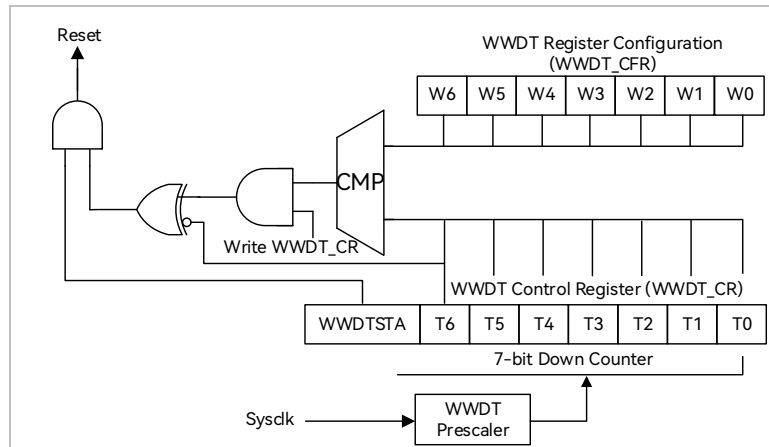
21.2 WWDT 主要特性

- > 可编程的自由运行递减计数器
- > 条件复位（窗口看门狗被启动）
 - » 当递减计数器的值小于0x40，则产生复位
 - » 当递减计数器在窗口外被喂狗，则产生复位
- > 如果启动了看门狗并且允许中断，当递减计数器等于0x40时，产生早期唤醒中断（EWIF），它可以被用于重新装载计数器以避免WWDT复位

21.3 WWDT 功能描述

如果 WWDT 被启动，并且 7 位递减计数器从 0x40 翻转到 0x3F 时，触发一个复位。如果软件在计数器值大于窗口寄存器中的数值时，重新装载计数器，将触发一个复位。图 21-1 为 WWDT 的功能框图。

图 21-1 WWDT 功能框图



应用程序在正常运行过程中，必须定期地写入 WWDT_CR 以防止 MCU 发生复位。只有当计数器值小于窗口寄存器的值时，才能进行写操作。储存在 WWDT_CR 寄存器中的数值必须在 0xFF-0xC0 之间。

21.3.1 启动看门狗

在系统复位后，窗口看门狗总是处于关闭状态，设置 WWDT_CR[WWDTSTA] = 1 开启窗口看门狗，随后它不能再被关闭，除非发生复位。

21.3.2 控制递减计数器

递减计数器处于自由运行状态，即使看门狗被禁止，递减计数器仍继续递减计数。当看门狗被启用时，WWDT_CR[TC]必须被设置，以防止立即产生一个复位。

WWDT_CR[TC]包含了看门狗产生复位之前的计时数目；复位前的延时时间在一个最小值和一个最大值之间变化，这是因为写入 WWDT_CR 寄存器时，预分频值是未知的。配置寄存器(WWDT_CFR)中包含窗口的上限值：要避免产生复位，递减计数器必须在其值小于窗口寄存器的数值并且大于 0x3F 时被重新装载，图 21-2 描述了窗口寄存器的工作过程。另一个重装计数器的方法是利用早期唤醒中断(EWIF)。设置 WWDT_CFR[WWDTIE]开启该中断。当递减计数器到达 0x40 时，则产生此中断，相应的中断服务程序可以用来加载计数器以防止 WWDT 复位。WWDT_SR[EWIF]写 0 可以清除该中断。

图 21-2 WWDT 的时序图

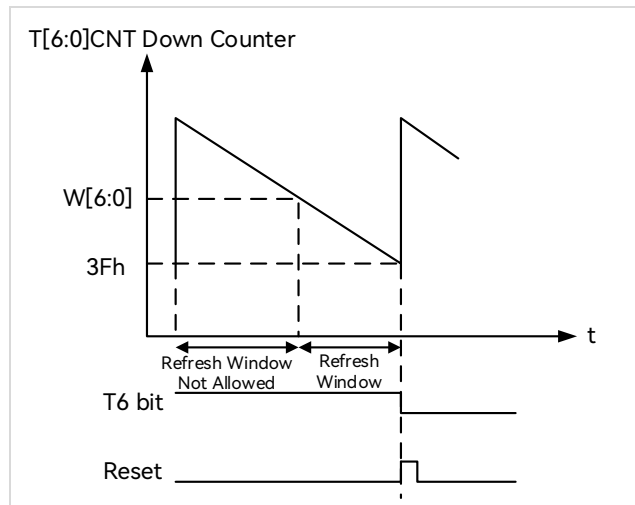


图 21-2 为 WWDT 的时序图，计算超时的公式如下：

$$T_{WWDT} = T_{PLCK} \times 2^{WWDTPSC} \times 4096 \times (T[6:0] + 1)$$

T_{WWDT} : WWDT 超时时间

T_{PCLK} : 系统快时钟的时间间隔

表 21-1 为窗口看门狗的最小-最大超时值

表 21-1 WWDT 不同分频下超时值

| WWDTPSC | 最小超时值 | 最大超时值 |
|---------|---------|---------|
| 0 | 85.3μs | 5.46ms |
| 1 | 170.7μs | 10.92ms |
| 2 | 341.3μs | 21.84ms |
| 3 | 682.6μs | 43.69ms |

21.4 WWDT 寄存器

21.4.1 WWDT_CR (CSR:0x4A0)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|----|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | WWDTSTA | TC | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw1 | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |

| | | |
|-------|------|---|
| [6:0] | WCLK | 7 位计数器，这些位用来存储 WWDT 的窗口值。当计数器值大于窗口值，且进行喂狗操作时，产生看门狗复位。 |
|-------|------|---|

21.4.3 WWDT_SR (CSR:0x4A2)

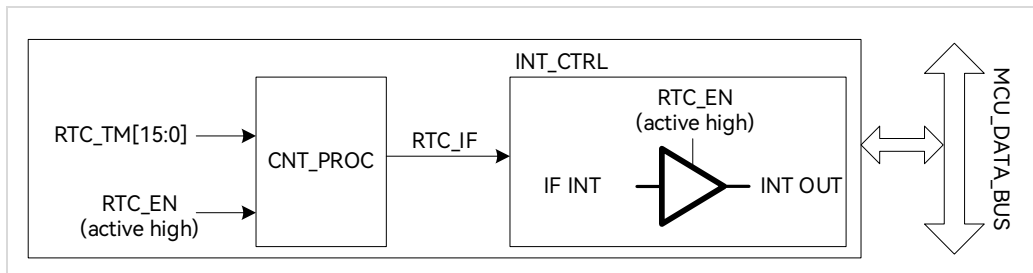
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | EWIF | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | | rw0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|------|--|
| [31:1] | RSV | 保留 |
| [0] | EWIF | 窗口看门狗中断标志位：当计数器值达到 40h 时，此位由硬件置 1。它必须通过软件写 0 来清除。
读：
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写：
0: 清 0
1: 无意义 |

22 RTC

22.1 RTC 基本功能框图

图 22-1 RTC 基本功能框图



22.2 RTC 操作说明

写寄存器 RTC_DR，设置 RTC 计数的重载值。配置 RTC_CR[RTCEN] = 1，使能 RTC 计数。配置 PIE[RTCIE] = 1 使能 RTC 中断，中断入口为 23。

22.3 RTC 寄存器

22.3.1 RTC_CR (CSR:0x460)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|-------|-------|-----|--------|-----|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | RTCEN | RTCIF | RSV | ISOSCN | RSV | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW0 | - | rW | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | - | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------|---------------------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | RTCEN | RTC 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [6] | RTCIF | RTC 中断事件标志位
读: |

| | | |
|-------|----------|---|
| | | 0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0
1: 无意义 |
| [5] | RSV | 保留 |
| [4] | ISOSCBEN | 内部慢时钟使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [3:0] | RSV | 保留 |

22.3.2 RTC_DR (CSR:0x461)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | RTC_DR | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | RTC_DR | RTC 计数存储器
读: RTC 当前计数值
写: RTC 重载值 |

22.3.3 CAL_CR (CSR:0x462)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--------|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CALBSY | RSV | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|------------|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | CALBSY | 时钟校准忙状态标志位 |

| | | |
|-------|-----|------------------------------|
| | | 读:
0: 校准完成/未工作
1: 正在校准 |
| [6:0] | RSV | 保留 |

23 IO

23.1 IO 简介

FU7371Q 支持 32 个 GPIO 引脚，分别为 PA0 ~ PA1、PA4 ~ PA9、PB0、PB2 ~ PB6、PB8 ~ PB9、PB11 ~ PB12、PB14、PC3 ~ PC7、PC9 ~ PC14、PD2、PD5。

23.2 IO 配置说明

每个 GPIO 端口有相关的配置寄存器用来满足不同应用的需求。如：PA0 ~ PA14 映射到寄存器 PA，PB0 ~ PB14 映射到寄存器 PB，通过 PA_OE、PB_OE 配置端口的数字输入输出。

- > 上、下拉电阻使能对应的位为1，具体端口与寄存器名称请参考23.3.8 PA_PU (CSR:0x002) ~ 23.3.12 PA_PL (CSR:0x003)
- > 上、下拉电阻阻值请参考5.4 GPIO电气特性
- > 配置PB_AN/PC_AN/PD_AN对应的位为1，具体端口与寄存器名称请参考23.3.5 PB_AN (CSR:0x013) ~ 23.3.7 PD_AN (CSR:0x033)。端口配置为模拟信号端口后，所有数字功能失效，寄存器PB/PC/PD对应的位读出的端口状态为0。

23.3 IO 寄存器

23.3.1 PA_OE (CSR:0x001)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|-----|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|---|------------|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PA_OE[14:13] | | RSV | | PA_OE[11:4] | | | | | | | | RSV | | PA_OE[1:0] | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | RW | RW | - | RW | RW | RW | RW | RW | RW | RW | RW | - | - | RW | RW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----|----|
| [31:15] | RSV | 保留 |

| | | |
|-------|--------------|--|
| [14] | PA_OE[14:13] | PA14 ~ PA13 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [12] | RSV | 保留 |
| [11] | PA_OE[11:4] | PA11 ~ PA4 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [3:2] | RSV | 保留 |
| [0] | PA_OE[1:0] | PA1 ~ PA0 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |

23.3.2 PB_OE (CSR:0x011)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----|--------------|----|-----|------------|----|-----|------------|---|----|----|-----|----------|----|---|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PB_OE[14] | RSV | PB_OE[12:11] | | RSV | PB_OE[9:8] | | RSV | PB_OE[6:2] | | | | RSV | PB_OE[0] | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|--|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PB_OE[14] | PB14 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [13] | RSV | 保留 |
| [12] | PB_OE[12:11] | PB12 ~ PB11 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | PB_OE[9:8] | PB9 ~ PB8 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [7] | RSV | 保留 |
| [6] | PB_OE[6:2] | PB6 ~ PB2 数字输入输出选择 |

| | | |
|-----|----------|--------------------------------|
| | | 0: 输入
1: 输出 |
| [1] | RSV | 保留 |
| [0] | PB_OE[0] | PB0 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |

23.3.3 PC_OE (CSR:0x021)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|---|---|---|---|-----|------------|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PC_OE[14:9] | | | | | RSV | PC_OE[7:3] | | | | | RSV | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | - | r | w | r | w | r | w | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PC_OE[14:9] | PC14 ~ PC9 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [8] | RSV | 保留 |
| [7] | PC_OE[7:3] | PC7 ~ PC3 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [2:0] | RSV | 保留 |

23.3.4 PD_OE (CSR:0x031)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|-----|---|----------|-----|---|---|---|---|
| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | PD_OE[5] | RSV | | PD_OE[2] | RSV | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | - | - | r | w | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | 0 | - | - | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---|----|----|
|---|----|----|

| | | |
|--------|----------|--------------------------------|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5] | PD_OE[5] | PD5 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [4:3] | RSV | 保留 |
| [2] | PD_OE[2] | PD2 数字输入输出选择
0: 输入
1: 输出 |
| [1:0] | RSV | 保留 |

23.3.5 PB_AN (CSR:0x013)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----|--------------|----|----|-----|------------|----|-----|------------|----|----|----|----|-----|----------|---|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PB_AN[14] | RSV | PB_AN[12:11] | | | RSV | PB_AN[9:8] | | RSV | PB_AN[6:2] | | | | | RSV | PB_AN[0] | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | - | rw | rw | - | rw | rw | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | - | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PB_AN[14] | PB14 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [13] | RSV | 保留 |
| [12] | PB_AN[12:11] | PB12 ~ PB11 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | PB_AN[9:8] | PB9 ~ PB8 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [7] | RSV | 保留 |
| [6] | PB_AN[6:2] | PB6 ~ PB2 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |

| | | |
|-----|----------|-------------------------------|
| [1] | RSV | 保留 |
| [0] | PB_AN[0] | PB0 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |

23.3.6 PC_AN (CSR:0x023)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|-----|------------|----|----|---|----|-----|----|----|----|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | PC_AN[14:9] | | | | | RSV | PC_AN[7:3] | | | | | RSV | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PC_AN[14:9] | PC14 ~ PC9 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [8] | RSV | 保留 |
| [7] | PC_AN[7:3] | PC7 ~ PC3 模拟模式使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [2:0] | RSV | 保留 |

23.3.7 PD_AN (CSR:0x033)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----------|-----|----------|-----|---|----|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | PD_AN[5] | RSV | PD_AN[2] | RSV | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | - | - | rW | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | 0 | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-----|----|
| [31:6] | RSV | 保留 |

| | | |
|-------|----------|------------------------------|
| [5] | PD_AN[5] | PD5 模拟模式使能
0:不使能
1: 使能 |
| [4:3] | RSV | 保留 |
| [2] | PD_AN[2] | PD2 模拟模式使能
0:不使能
1: 使能 |
| [1:0] | RSV | 保留 |

23.3.8 PA_PU (CSR:0x002)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|-----|-------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|----------|----------|---|---|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PA_PU[14:13] | | RSV | PA_PU[11:4] | | | | | | | RSV | | PA_PU[1] | PA_PU[0] | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PA_PU[14:13] | PA14 ~ PA13 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [12] | RSV | 保留 |
| [11] | PA_PU[11:4] | PA11 ~ PA4 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [3:2] | RSV | 保留 |
| [0] | PA_PU[1:0] | PA1 ~ PA0 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |

23.3.9 PB_PU (CSR:0x012)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----|--------------|----|----|-----|------------|---|-----|------------|----|----|----|----|-----|----------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | PB_PU[14] | RSV | PB_PU[12:11] | | | RSV | PB_PU[9:8] | | RSV | PB_PU[6:2] | | | | | RSV | PB_PU[0] |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|---------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PB_PU[14] | PB14 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [13] | RSV | 保留 |
| [12] | PB_PU[12:11] | PB12 ~ PB11 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | PB_PU[9:8] | PB9 ~ PB8 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [7] | RSV | 保留 |
| [6] | PB_PU[6:2] | PB6 ~ PB2 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [1] | RSV | 保留 |
| [0] | PB_PU[0] | PB0 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |

23.3.10 PC_PU (CSR:0x022)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|-----|------------|---|----|----|----|-----|----|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PC_PU[14:9] | | | | | | RSV | PC_PU[7:3] | | | | | RSV | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | - | rw | rw | rw | rw | rw | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PC_PU[14:9] | PC14 ~ PC9 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [8] | RSV | 保留 |
| [7] | PC_PU[7:3] | PC7 ~ PC3 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [2:0] | RSV | 保留 |

23.3.11 PD_PU (CSR:0x032)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|----------|-----|----------|-----|----|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | PD_PU[5] | RSV | PD_PU[2] | RSV | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | - | - | rw | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | 0 | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|----------|-------------------------------|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5] | PD_PU[5] | PD5 上拉电阻使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [4:3] | RSV | 保留 |
| [2] | PD_PU[2] | PD2 上拉电阻使能 |

| | | |
|-------|-----|-----------------|
| | | 0: 不使能
1: 使能 |
| [1:0] | RSV | 保留 |

23.3.12 PA_PL (CSR:0x003)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|-----|-------------|----|----|----|----|----|------|----|------------|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PA_PL[14:13] | | RSV | PA_PL[11:4] | | | | | | ODEN | | PA_PL[1:0] | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------------|-------------------------------------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14:13] | PA_PL[14:13] | PA14 ~ PA13 下拉使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [12] | RSV | 保留 |
| [11:4] | PA_PL[11:4] | PA11 ~ PA4 下拉使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [3:2] | ODEN | PA0 ~ PA1 开漏使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [1:0] | PA_PL[1:0] | PA1 ~ PA0 下拉使能
0: 不使能
1: 使能 |

23.3.13 PH_SEL (CSR:0x060)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|------|--------|-----|-------|-------|-----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | T5SEL | T8CT | DBG1CT | RSV | CMPCT | MONCT | RSV | SPI1TMOD | I2CFS | CANCT | LINCT | UT2CT | UT1CT | T7CT | T6BCT | T6ACT | T5BCT | T5ACT | T4CT | T3CT | RSV | | | | | | | | | | | | |
| - | rW | rW | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | - |



| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|---|
| [31] | RSV | 保留 |
| [30] | T5SEL | 端口复用为 Timer5/QEP1
与 PH_SEL[T5ACT]、PH_SEL[T5BCT]组合配置
> PH_SEL[T5SEL] : PH_SEL[T5ACT]
01: 保留
11: PA4 作为 Timer5 的输入输出或 QEP1A 输入
> PH_SEL[T5SEL] : PH_SEL[T5BCT]
01: 保留
11: PA5 作为 Timer5 的输入输出或作为 QEP1B 输入
> PH_SEL[T5SEL]
00: 保留
01: PA6 复用为 QEP1I 输入 |
| [29:28] | T8CT | 端口复用为 Timer8
00/11: 不复用
01: PA9 作为 Timer8 的输入输出
10: PB2 作为 Timer8 的输入输出 |
| [27] | DBG1CT | 端口复用为 DBG1
0: PA1 复用为 DBG1
1: PA9 复用为 DBG1 |
| [26] | RSV | 保留 |
| [25] | CMPCT | 端口复用为比较器输出
0: PA1 复用为比较器输出
1: 保留 |
| [24:23] | MONCT | 端口复用为 DataMonitor
00: PA9 复用为 DataMonitor
01: PA0 复用为 DataMonitor
1x: PB0 复用为 DataMonitor |
| [22] | RSV | 保留 |
| [21] | SPI1TMOD | SPI1 从机发送完后 MISO 端口状态
0: 输出状态
1: 高阻态 |
| [20] | I2CFS | 端口复用为 I ² C1
0: PA0、PA1 复用为 SDA1、SCL1 |

| | | |
|---------|-------|--|
| | | 1: 不复用 |
| [19] | CANCT | 端口复用为 CAN
0: PA0、PA1 复用为 CTX、CRX
1: PA5、PA4 复用为 CTX、CRX |
| [18] | LINCT | 端口复用为 LIN
0: PA0、PA1 复用为 LTX、LRX
1: PA5、PA4 复用为 LTX、LRX |
| [17:16] | UT2CT | 端口复用为 UART2
00: 保留
01: PA5、PA4 复用为 TXD2、RXD2
1x: PB2 (单线模式 IO, 非单线 O) |
| [15:14] | UT1CT | 端口复用为 UART1
00: PA0、PA1 复用为 TXD1、RXD1
01: PA7、PA6 复用为 TXD1、RXD1
1x: 保留 |
| [13:12] | T7CT | 端口复用为 Timer7
00: 不复用
01: PA1 作为 Timer7 的输入输出
1x: 保留 |
| [11] | T6BCT | 端口复用为 Timer6
0: 不复用
1: PA8 作为 Timer6 的输入输出 |
| [10:9] | T6ACT | 端口复用为 Timer6
0x: 不复用
10: PA7 作为 Timer6 的输入输出
11: 保留 |
| [8] | T5BCT | 端口复用为 Timer5/QEP1B
与 PH_SEL[T5SEL]组合配置
PH_SEL[T5SEL]: PH_SEL[T5BCT]
01: 保留
11: PA5 作为 Timer5 的输入输出或 QEP1B 输入 |
| [7] | T5ACT | 端口复用为 Timer5/QEP1A
与 PH_SEL[T5SEL]组合配置
PH_SEL[T5SEL]: PH_SEL[T5ACT]
01: 保留
11: PA4 作为 Timer5 的输入输出或 QEP1A 输入 |
| [6:5] | T4CT | 端口复用为 Timer4 |

| | | |
|-------|------|---|
| | | 00: 不复用
01: PA0 作为 Timer4 的输入输出
1x: 保留 |
| [4:3] | T3CT | 端口复用为 Timer3
00: 不复用
01: PA8 作为 Timer3 的输入输出
10: PA0 作为 Timer3 的输入输出
11: 保留 |
| [2:0] | RSV | 保留 |

23.3.14 PA (CSR:0x000)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|-----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|---|---|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | PA[14] | PA[13] | RSV | PA[11] | PA[10] | PA[9] | PA[8] | PA[7] | PA[6] | PA[5] | PA[4] | RSV | PA[2] | PA[1] | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|---------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PA[14] | PA14 端口 |
| [13] | PA[13] | PA13 端口 |
| [12] | RSV | 保留 |
| [11] | PA[11] | PA11 端口 |
| [10] | PA[10] | PA10 端口 |
| [9] | PA[9] | PA9 端口 |
| [8] | PA[8] | PA8 端口 |
| [7] | PA[7] | PA7 端口 |
| [6] | PA[6] | PA6 端口 |
| [5] | PA[5] | PA5 端口 |
| [4] | PA[4] | PA4 端口 |
| [3:2] | RSV | 保留 |
| [1] | PA[1] | PA1 端口 |
| [0] | PA[0] | PA0 端口 |

23.3.15 PB (CSR:0x010)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|--------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|----|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | PB[14] | RSV | PB[12] | PB[11] | RSV | PB[9] | PB[8] | RSV | PB[6] | PB[5] | PB[4] | PB[3] | PB[2] | RSV | PB[0] | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|---------|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14] | PB[14] | PB14 端口 |
| [13] | RSV | 保留 |
| [12] | PB[12] | PB12 端口 |
| [11] | PB[11] | PB11 端口 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | PB[9] | PB9 端口 |
| [8] | PB[8] | PB8 端口 |
| [7] | RSV | 保留 |
| [6] | PB[6] | PB6 端口 |
| [5] | PB[5] | PB5 端口 |
| [4] | PB[4] | PB4 端口 |
| [3] | PB[3] | PB3 端口 |
| [2] | PB[2] | PB2 端口 |
| [1] | RSV | 保留 |
| [0] | PB[0] | PB0 端口 |

23.3.16 PC (CSR:0x020)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | PC[14] | PC[13] | PC[12] | PC[11] | PC[10] | PC[9] | RSV | PC[7] | PC[6] | PC[5] | PC[4] | PC[3] | RSV | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----|----|
| [31:15] | RSV | 保留 |

| | | |
|-------|--------|---------|
| [14] | PC[14] | PC14 端口 |
| [13] | PC[13] | PC13 端口 |
| [12] | PC[12] | PC12 端口 |
| [11] | PC[11] | PC11 端口 |
| [10] | PC[10] | PC10 端口 |
| [9] | PC[9] | PC9 端口 |
| [8] | RSV | 保留 |
| [7] | PC[7] | PC7 端口 |
| [6] | PC[6] | PC6 端口 |
| [5] | PC[5] | PC5 端口 |
| [4] | PC[4] | PC4 端口 |
| [3] | PC[3] | PC3 端口 |
| [2:0] | RSV | 保留 |

23.3.17 PD (CSR:0x030)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-----|---|-------|-----|---|-------|-----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | RSV | | PD[5] | RSV | | PD[2] | RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | - | - | rw | - | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | 0 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|-------|--------|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5] | PD[5] | PD5 端口 |
| [4:3] | RSV | 保留 |
| [2] | PD[2] | PD2 端口 |
| [1:0] | RSV | 保留 |

24 温度传感器

MCU 集成有温度传感器，配置 TSD_CR[TSEN_EN] = 1 使能温度传感器，读取寄存器中的值，查表即可得当前芯片内部的温度。温度传感器显示的范围为 71°C到 150°C，对应的码值如表 24-1 所示。

配置 PIE[TSDIE] = 1 使能 TSD 中断，中断入口为 0。

表 24-1 温度传感器输出的码值及对应的档位温度值

| TSEN_DR | 温度值(°C) | TSEN_DR | 温度值(°C) |
|---------|---------|---------|---------|
| 0111111 | 71 | 1011101 | 107 |
| 1000000 | 72 | 1011110 | 109 |
| 1000001 | 73 | 1011111 | 110 |
| 1000010 | 74 | 1100000 | 112 |
| 1000011 | 75 | 1100001 | 113 |
| 1000100 | 76 | 1100010 | 114 |
| 1000101 | 77 | 1100011 | 116 |
| 1000110 | 78 | 1100100 | 117 |
| 1000111 | 79 | 1100101 | 119 |
| 1001000 | 80 | 1100110 | 120 |
| 1001001 | 82 | 1100111 | 122 |
| 1001010 | 83 | 1101000 | 124 |
| 1001011 | 84 | 1101001 | 125 |
| 1001100 | 85 | 1101010 | 127 |
| 1001101 | 86 | 1101011 | 128 |
| 1001110 | 88 | 1101100 | 130 |
| 1001111 | 89 | 1101101 | 132 |
| 1010000 | 90 | 1101110 | 133 |
| 1010001 | 91 | 1101111 | 135 |
| 1010010 | 93 | 1110000 | 136 |
| 1010011 | 94 | 1110001 | 138 |
| 1010100 | 95 | 1110010 | 140 |
| 1010101 | 96 | 1110011 | 142 |
| 1010110 | 98 | 1110100 | 143 |
| 1010111 | 99 | 1110101 | 145 |
| 1011000 | 100 | 1110110 | 147 |

| TSEN_DR | 温度值(°C) | TSEN_DR | 温度值(°C) |
|---------|---------|-------------------|---------|
| 1011010 | 103 | 1110111 | 148 |
| 1011011 | 105 | 1111000 ~ 1111111 | ≥150 |
| 1011100 | 106 | | |

24.1 温度传感器寄存器

24.1.1 TSD_CR (CSR:0x630)

| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--------|---------|----------|-----|---------|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TSD_EN | TSEN_EN | TSEN_HYS | RSV | TSD_ADJ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | - | r | w | r | w | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|---|---------|----------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-----|
| [31:8] | RSV | 保留 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [7] | TSD_EN | TSD 使能
0: 不使能
1: 使能 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [6] | TSEN_EN | 温度传感器使能
0: 不使能
1: 使能 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [5] | TSEN_HYS | 温度传感器输出结果滤波
0: 滤波宽度 1 个码值
1: 滤波宽度 2 个码值 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [4] | RSV | 保留 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [3:0] | TSD_ADJ | 过温保护温度选择

<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表 24-2 过温保护码值与对应保护温度</caption> <thead> <tr> <th>TSD_ADJ</th> <th>保护温度(°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0000</td><td>81.75</td></tr> <tr><td>0001</td><td>86.45</td></tr> <tr><td>0010</td><td>91.35</td></tr> <tr><td>0011</td><td>96.35</td></tr> <tr><td>0100</td><td>101.8</td></tr> <tr><td>0101</td><td>107.2</td></tr> <tr><td>0110</td><td>113</td></tr> </tbody> </table> | TSD_ADJ | 保护温度(°C) | 0000 | 81.75 | 0001 | 86.45 | 0010 | 91.35 | 0011 | 96.35 | 0100 | 101.8 | 0101 | 107.2 | 0110 | 113 |
| TSD_ADJ | 保护温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0000 | 81.75 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0001 | 86.45 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010 | 91.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0011 | 96.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0100 | 101.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0101 | 107.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0110 | 113 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|------|-------|
| | | | 0111 | 118.8 |
| | | | 1000 | 125.3 |
| | | | 1001 | 131.7 |
| | | | 1010 | 138.4 |
| | | | 1011 | 145.2 |
| | | | 1100 | 152.5 |
| | | | 1101 | 159.7 |

24.1.2 TSEN_DR (CSR:0x631)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TSEN_DR | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--|
| [31:7] | RSV | 保留 |
| [6:0] | TSEN_DR | 温度传感器输出数据
读取该寄存器值，通过查表即可对应出芯片当前的温度值。详细请参照表 24-1 温度传感器输出的码值及对应的档位温度值 |

25 ADC

25.1 ADC 简介

芯片的 ADC 是一个 12 位逐次逼近寄存器 ADC，内部一共有 3 个独立的 ADC，ADC1 有 10 个通道，ADC2 有 9 个通道，ADC3 有 1 个通道。ADC1 和 ADC2 采样方式支持顺序采样(即从 ADC 通道 0 依次到 ADC 通道 13)和触发采样(FOC 触发采样模式)，ADC3 采样方式支持顺序采样。顺序采样的结果会以右对齐或左次高位对齐的格式存进 ADC1_DRx/ADC2_DRx/ADC3_DR2(x = 0 ~ 13)。ADC1 和 ADC2 触发采样的结果不会更新到 ADC1_DRx/ADC2_DRx，而是送到 FOC 模块以完成电机控制。FOC 模块的相关寄存器固定以左次高位对齐的格式存放触发采样的结果。触发采样由硬件自动完成，顺序采样则由软件控制。触发采样优先级比顺序采样优先级高，如果某一时刻同时需要触发采样和顺序采样，则先进行触发采样，触发采样完成后自动恢复为顺序采样模式。

ADC 转换的时钟源为 24MHz，采样时间由 ADC1_SCYC，ADC2_SCYC，ADC3_SCYC 设定。

25.2 ADC 框图

图 25-1 ADC1 多路复用器框图

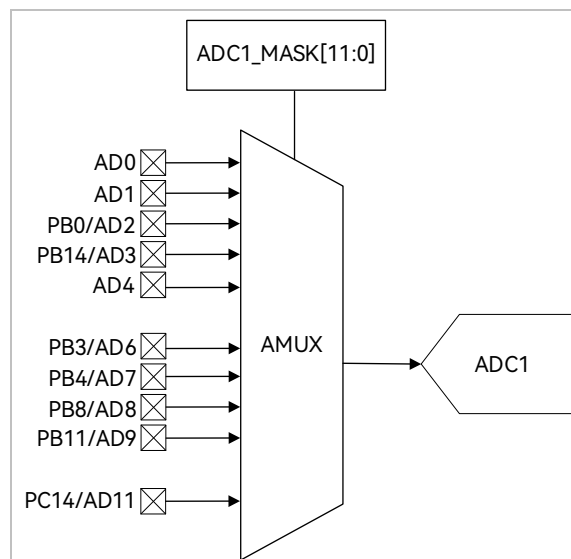


图 25-2 ADC2 多路复用器框图

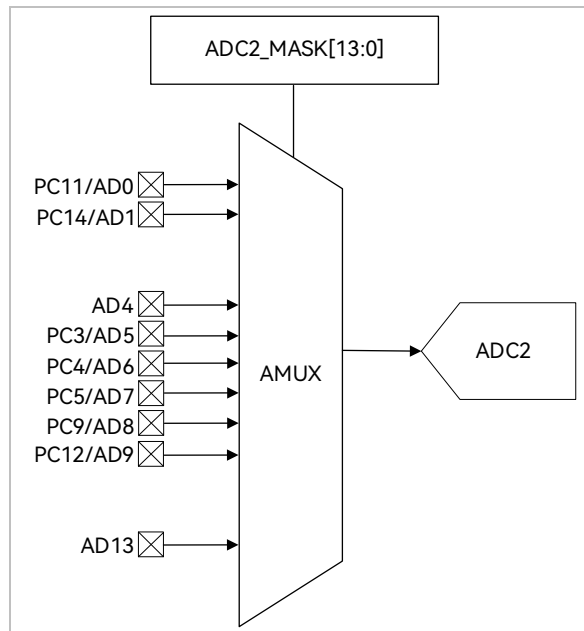


图 25-3 ADC3 多路复用器框图

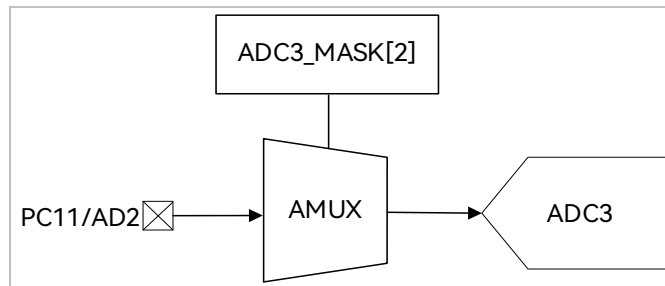


图 25-4 ADC1 功能框图

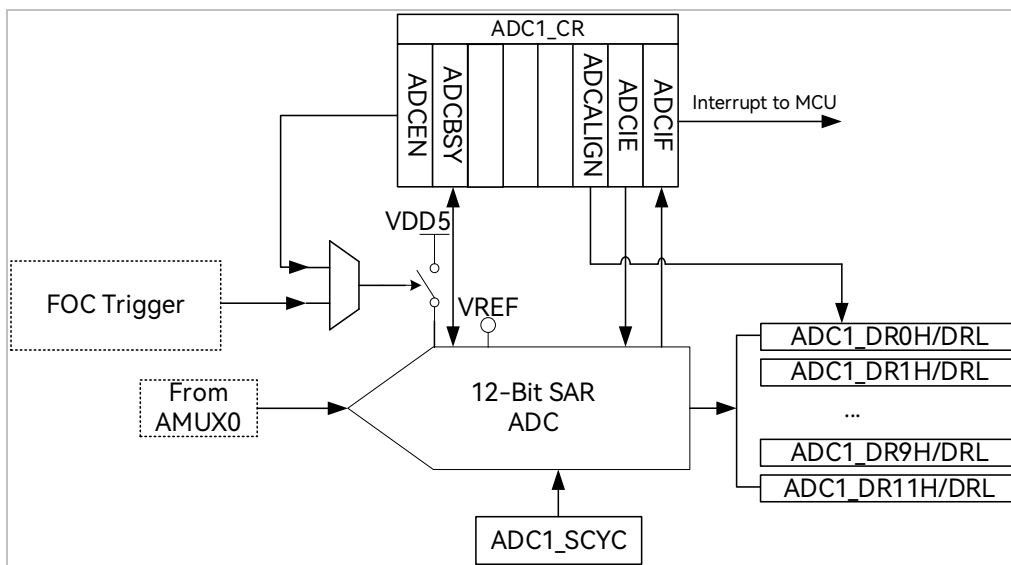


图 25-5 ADC2 功能框图

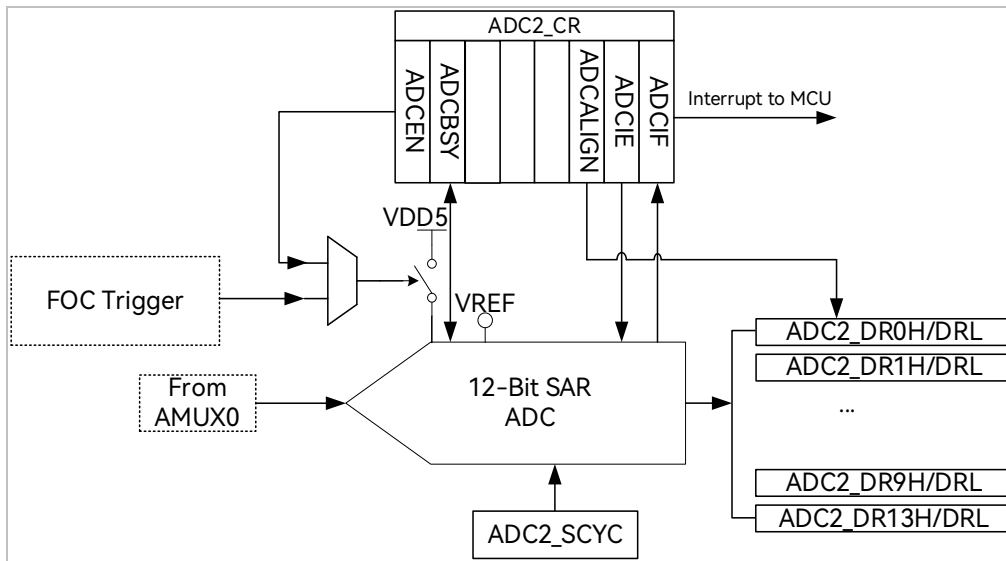
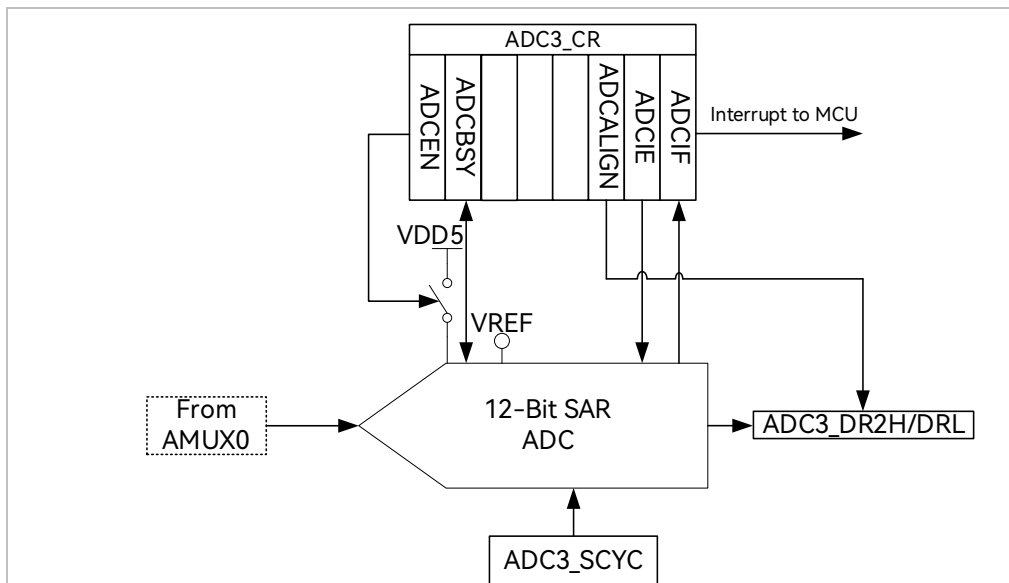


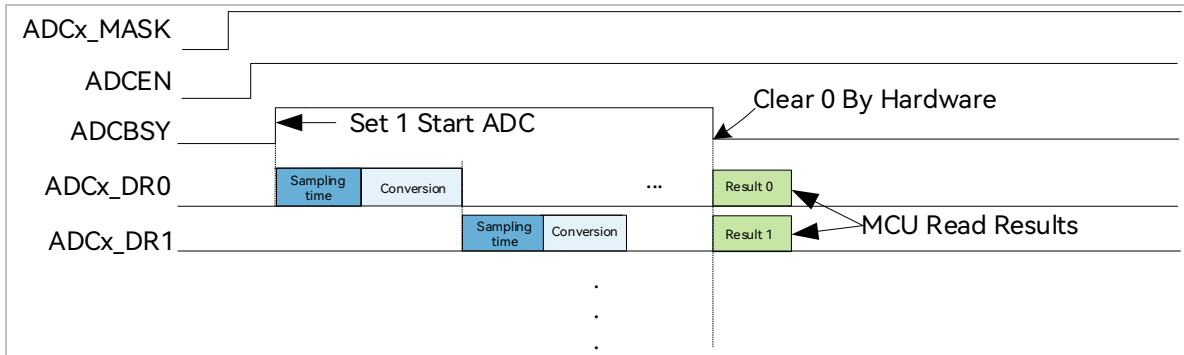
图 25-6 ADC3 功能框图



25.3 ADC 操作说明

25.3.1 顺序采样模式

图 25-7 顺序采样时序图



ADC 操作:

1. 设置合适的ADC参考电压VREF;
2. 设置使能需采样的通道ADCx_MASK;
3. 设置每个通道的采样周期ADCx_SCYC(最小值为3);
4. 配置ADCx_CR[ADCEN] = 1, 使能ADC;
5. 配置ADCx_CR[ADCB SY] = 1, ADC开始工作;
6. 确认ADCx_CR[ADCB SY] = 0, 再读取ADC转换结果。



备注:

ADC 转换顺序根据使能的通道号从低到高(即使使能通道 2/3/4 后, 依次采样转换通道 2/3/4, 然后在确认 ADCx_CR[ADCB SY] = 0 后读取单次转换结果)。

25.3.2 触发采样模式

25.3.2.1 ADC1 触发采样模式

当启动 FOC 后, 通道 0/1/2/4 可用于 FOC 触发采样。通道 2 用于母线电压触发采样。在单电阻电流采样模式下, 通道 4 为母线电流 itrip 的采样通道。在双电阻电流采样模式下, 通道 0 为 ia 的采样通道, 通道 1 为 ib 的采样通道。在三电阻电流采样模式下, 通道 0 为 ia 的采样通道, 通道 1 为 ib 的采样通道, 通道 4 为 ic 的采样通道。

25.3.2.2 ADC2 触发采样模式

当启动 FOC 后，通道 0/1/4 可用于 FOC 触发采样。在单电阻电流采样模式下，通道 4 为母线电流 i_{trip} 的采样通道。在双电阻电流采样模式下，通道 0 为 i_a 的采样通道，通道 1 为 i_b 的采样通道。在三电阻电流采样模式下，通道 0 为 i_a 的采样通道，通道 1 为 i_b 的采样通道，通道 4 为 i_c 的采样通道。

25.3.3 输出数据格式

寄存器 ADC1_DRx/ADC2_DRx/ADC3_DR2 包含每次转换完成时转换数据。数据可以根据 ADCx_CR[ADCALI] 选择右对齐或左次高位对齐。当输入电压从 0 ~ VREF，输出数据数值如表 25-1 所示。ADC1_DRx/ADC2_DRx/ADC3_DR2 寄存器中未使用的位被置为 0。

表 25-1 输出数据数值与对齐方式的关系

| 输入电压 | 右对齐 | 左次高位对齐 |
|--------|--------|--------|
| 0 | 0x0000 | 0x0000 |
| VREF/2 | 0x0800 | 0x4000 |
| VREF | 0x0FFF | 0x7FF8 |

25.4 ADC 寄存器

25.4.1 ADCx_CR (CSR:0x660/0x670/0x680) (x = 1/2/3)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|-------|--------|------|---|---|----------|-------|-------|------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ADCEN | ADCBSY | RSV | | | ADCALIGN | ADCIE | ADCIF | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | r/w1 | - | - | - | r/w | r/w | r/w0 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|----------|---|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | ADCEN | ADC 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [6] | ADCBSY | ADC 启动&ADC 忙标志位
读:
0: ADC 空闲
1: ADC 忙
写:
0: 无意义
1: 启动 ADC 转换

 备注:
ADCx_MASK = 0 时此位写 1 无意义 |
| [5:3] | RSV | 保留 |
| [2] | ADCALIGN | ADC 数据格式选择
0: ADC 数据右对齐
1: ADC 数据左次高位对齐

 备注:
触发采样模式不受影响, 固定为左次高位对齐 |
| [1] | ADCIE | ADC 中断使能(不包含触发模式中断)
0: 不使能 |

| | | |
|-----|-------|--|
| | | 1: 使能 |
| [0] | ADCIF | ADC 中断事件标志位
当本次 ADC 转换完成时, 硬件置 1
读:
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0
1: 无意义 |

25.4.2 ADCx_MASK (CSR:0x661/0x671/0x681) (x = 1/2/3)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|--------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | CH13EN | RSV | CH11EN | RSV | CH9EN | CH8EN | CH7EN | CH6EN | CH5EN | CH4EN | CH3EN | CH2EN | CH1EN | CH0EN |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|--------------|
| [31:14] | RSV | 保留 |
| [13] | CH13EN | ADC 通道 13 使能 |
| [12] | RSV | 保留 |
| [11] | CH11EN | ADC 通道 11 使能 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | CH9EN | ADC 通道 9 使能 |
| [8] | CH8EN | ADC 通道 8 使能 |
| [7] | CH7EN | ADC 通道 7 使能 |
| [6] | CH6EN | ADC 通道 6 使能 |
| [5] | CH5EN | ADC 通道 5 使能 |
| [4] | CH4EN | ADC 通道 4 使能 |
| [3] | CH3EN | ADC 通道 3 使能 |
| [2] | CH2EN | ADC 通道 2 使能 |
| [1] | CH1EN | ADC 通道 1 使能 |
| [0] | CH0EN | ADC 通道 0 使能 |



备注:

触发采样模式无需配置 ADCx_MASK。

25.4.3 ADC1_SCYC (CSR:0x662)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|------------|----|---|---|------------|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_SCYC3 | | | | ADC1_SCYC2 | | | | ADC1_SCYC1 | | | | ADC1_SCYC0 | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------------------|--|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:12] | ADC1_SCYC3
[15:12] | ADC1 采样周期设置，ADC 通道 3、8、9 共用设置
ADC1_SCYC3[15] = 0: 采样周期为 ADC1_SCYC3[14:12]个 ADC 时钟周期
ADC1_SCYC3[15] = 1: 采样周期为(ADC1_SCYC3[14:12]*8 + 7)个 ADC 时钟周期 |
| [11:8] | ADC1_SCYC2
[11:8] | ADC1 采样周期设置，ADC 通道 6、7 共用设置
ADC1_SCYC2[11] = 0: 采样周期为 ADC1_SCYC2[10:8]个 ADC 时钟周期
ADC1_SCYC2[11] = 1: 采样周期为(ADC1_SCYC2[10:8]*8 + 7)个 ADC 时钟周期 |
| [7:4] | ADC1_SCYC1
[7:4] | ADC1 采样周期设置，ADC 通道 2 设置
ADC1_SCYC1[7] = 0: 采样周期为 ADC1_SCYC1[6:4]个 ADC 时钟周期
ADC1_SCYC1[7] = 1: 采样周期为(ADC1_SCYC1[6:4]*8 + 7)个 ADC 时钟周期 |
| [3:0] | ADC1_SCYC0
[3:0] | ADC1 采样周期设置，ADC 通道 0、1、4、11 共用设置
ADC1_SCYC0[3] = 0: 采样周期为 ADC1_SCYC0[2:0]个 ADC 时钟周期
ADC1_SCYC0[3] = 1: 采样周期为(ADC1_SCYC0[2:0]*8 + 7)个 ADC 时钟周期 |

25.4.4 ADC2_SCYC (CSR:0x672)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|------------|----|---|---|-----|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_SCYC3 | | | | ADC2_SCYC2 | | | | RSV | | | | ADC2_SCYC0 | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w |

25.4.6 ADC1_DRx (0x40000040)


| 偏移 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | |
|-----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|
| 00h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR0 |
| 02h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR1 |
| 04h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR2 |
| 06h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR3 |
| 08h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR4 |
| 0Ah | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 0Ch | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR6 |
| 0Eh | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR7 |
| 10h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR8 |
| 12h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR9 |
| 14h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 16h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC1_DR11 |
| 18h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |

25.4.7 ADC2_DRx (0x40000060)

| 偏移 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | |
|-----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|
| 00h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR0 |
| 02h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR1 |
| 04h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 06h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 08h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR4 |
| 0Ah | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR5 |
| 0Ch | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR6 |
| 0Eh | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR7 |
| 10h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR8 |
| 12h | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR9 |
| 14h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 16h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 18h | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 1Ah | | | | | | | | | | | | | | | | ADC2_DR13 |
| 1Ch | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |
| 1Eh | | | | | | | | | | | | | | | | RSV |

25.4.8 ADC3_DR2 (CSR: 0x685)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ADC3_DR2 | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r | r |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|--|
| [31:12] | RSV | 保留 |
| [11:0] | ADC3_DR2 | 顺序采样模式 ADC 转换完成后，ADC3 通道 2 转换结果数据根据 ADCx_CR[ADCALI]选择对齐方式
 备注:
触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器 |

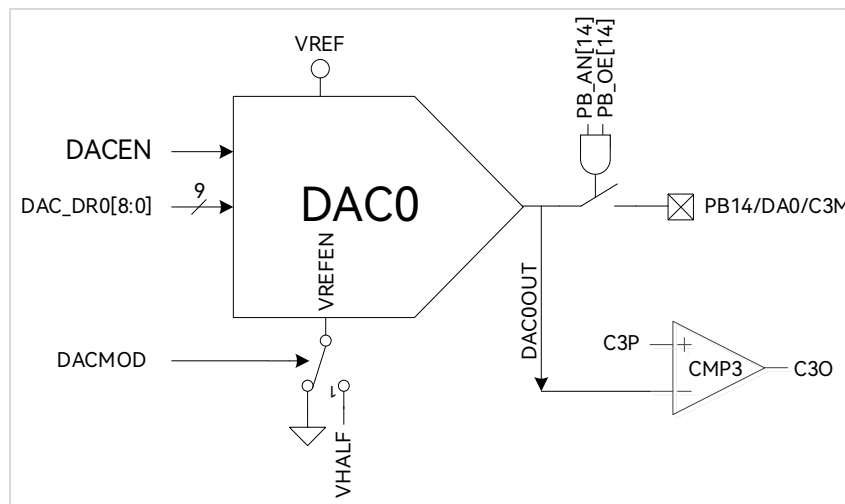
26 DAC

26.1 DAC 简介

芯片内部集成 4 个 DAC 模块，其中 DAC0/3 为 9 位数模转换器，DAC1/4 为 6 位数模转换器。

26.2 DAC0 功能说明

图 26-1 DAC0 功能框图



如图 26-1 所示，DAC0 将 9 位的数字数据转换为模拟电压送至 CMP3 的负输入端，用于母线过流保护，同时可配置模拟输出至 PB14 引脚。



备注：

DAC0 输出无电流驱动能力，只能带容性负载，片外如需用作阻性负载，需用运放跟随电压输出。

使用 DAC0 的具体设定如下：

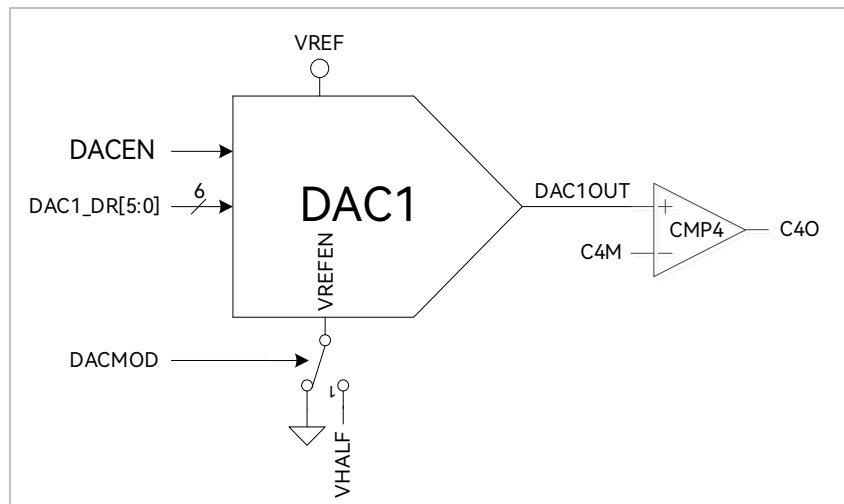
1. 配置 $PB_AN[14] = 1$ 、 $PB_OE[14] = 1$ ，DAC0 输出至 PB14 引脚（仅供 DAC0 输出测试， $PB_OE[14]$ 不置 1 不会影响 DAC 内部电路输出）；
2. 配置 $VREF_VHALF_CR[VREFEN] = 1$ 、 $DAC_CR[DAC0EN] = 1$ ，DAC0 使用 VREF 作参考电压；
3. 输出电压范围由 $DAC_CR[DACMOD]$ 设定。 $DAC_CR[DACMOD] = 0$ 时为全电压输出模式，输出电压范围为 $0 \sim VREF$ 。 $DAC_CR[DACMOD] = 1$ 时为半电压输出模式，输出电压范围为 $VHALF \sim VREF$ 。不同模式下输出电压与 DAC0_DR 关系如表 26-1 所示。

表 26-1 不同配置下 DAC0 的电压输出

| DAC0_DR [8:0] | DAC0 输出电压
(DAC_CR[DACMOD] = 0) | DAC0 输出电压
(DAC_CR[DACMOD] = 1) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0x000 | 0 | VHALF |
| 0x100 | VREF/2 | (VREF - VHALF)/2 + VHALF |
| 0x1FF | VREF*511/512 | (VREF - VHALF)*511/512 + VHALF |

26.3 DAC1 功能说明

图 26-2 DAC1 功能框图



如图 26-2 所示，DAC1 将 6 位的数字数据转换为模拟电压送至 CMP4 的正输入端用于逐波限流功能。



备注：

DAC1 输出无电流驱动能力，只能带容性负载，片外如需用作阻性负载，需用运放跟随电压输出。

使用 DAC1 的具体设定如下：

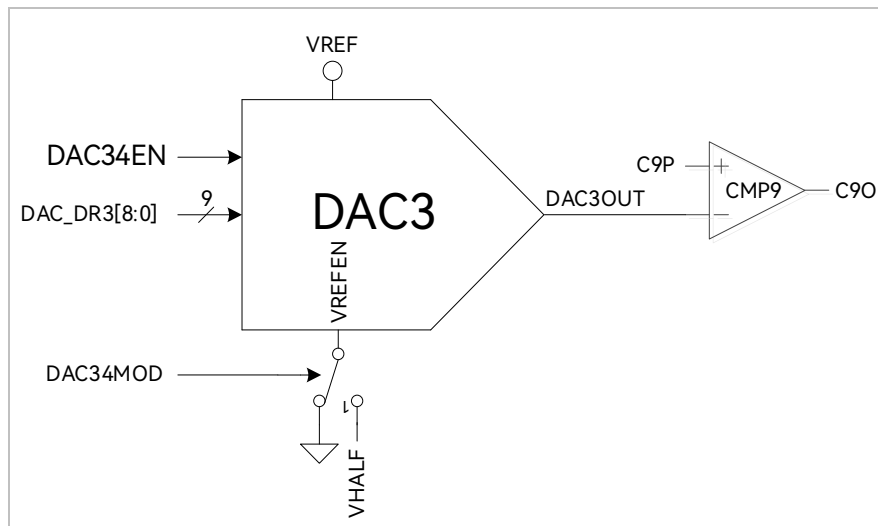
1. DAC1 使用 VREF 作参考电压，配置 VREF_VHALF_CR[VREFEN] = 1、DAC_CR[DACEN] = 1 使能 DAC1；
2. 输出电压范围由 DAC_CR[DACMOD] 设定。DAC_CR[DACMOD] = 0 时为全电压输出模式，输出电压范围为 0 ~ VREF，DAC_CR[DACMOD] = 1 时为半电压输出模式，输出电压范围 VHALF ~ VREF。不同配置下 DAC1 的输出电压如表 26-2 所示。

表 26-2 不同配置下 DAC1 的电压输出

| DAC1_DR[5:0] | DAC1 输出电压
(DAC_CR[DACMOD] = 0) | DAC1 输出电压
(DAC_CR[DACMOD] = 1) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0x00 | 0 | VHALF |
| 0x20 | VREF/2 | (VREF - VHALF)/2 + VHALF |
| 0x3F | VREF*63/64 | (VREF - VHALF)*63/64 + VHALF |

26.4 DAC3 功能说明

图 26-3 DAC3 功能框图



如图 26-3 所示，DAC3 将 9 位的数字数据转换为模拟电压送至 CMP9 的负输入端，用于从电机电流采样放大后的过流保护。



备注：

DAC3 输出无电流驱动能力，只能带容性负载，片外如需用作阻性负载，需用运放跟随电压输出。

使用 DAC3 的具体设定如下：

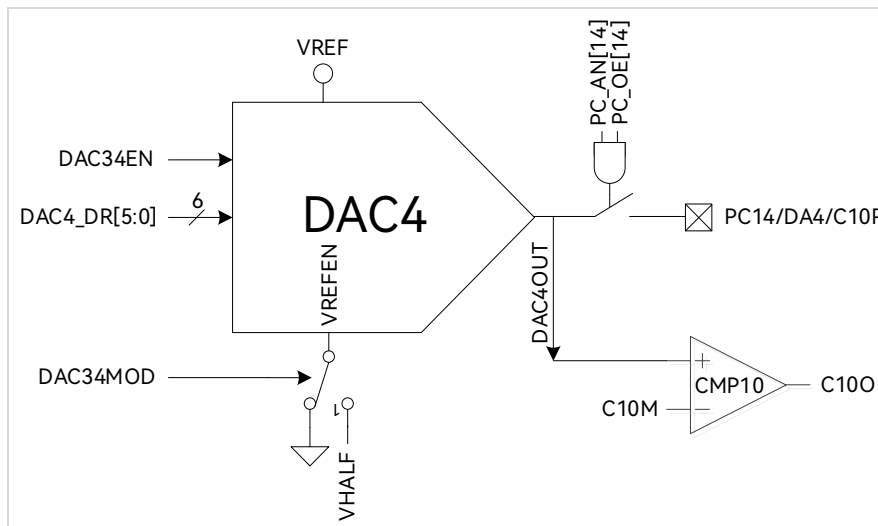
1. 配置 VREF_VHALF_CR[VREFEN] = 1、DAC_CR[DAC34EN] = 1，DAC3 使用 VREF 作参考电压；
2. 输出电压范围由 DAC_CR[DAC34MOD] 设定。DAC_CR[DAC34MOD] = 0 时为全电压输出模式，输出电压范围为 0 ~ VREF。DAC_CR[DAC34MOD] = 1 时为半电压输出模式，输出电压范围为 VHALF ~ VREF。不同模式下输出电压与 DAC3_DR 关系如表 26-3 所示。

表 26-3 不同配置下 DAC3 的电压输出

| DAC3_DR [8:0] | DAC3 输出电压
(DAC_CR[DAC34MOD] = 0) | DAC3 输出电压
(DAC_CR[DAC34MOD] = 1) |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0x000 | 0 | VHALF |
| 0x100 | VREF/2 | (VREF - VHALF)/2 + VHALF |
| 0x1FF | VREF*511/512 | (VREF - VHALF)*511/512 + VHALF |

26.5 DAC4 功能说明

图 26-4 DAC4 功能框图



如图 26-4 所示，DAC4 将 6 位的数字数据转换为模拟电压送至 CMP10 的正输入端用于逐波限流功能，同时可配置输出至 PC14 引脚。



备注：

DAC4 输出无电流驱动能力，只能带容性负载，片外如需用作阻性负载，需用运放跟随电压输出。

使用 DAC4 的具体设定如下：

1. 配置 PC_AN[14] = 1、PC_OE[14] = 1，DAC4 输出至 PC14 引脚（仅供 DAC4 输出测试，PC_OE[14] 不置 1 不会影响 DAC 内部电路输出）；
2. DAC4 使用 VREF 作参考电压，配置 VREF_VHALF_CR[VREFEN] = 1、DAC_CR[DAC34EN] = 1 使能 DAC4；
3. 输出电压范围由 DAC_CR[DAC34MOD] 设定。DAC_CR[DAC34MOD] = 0 时为全电压输出模式，输出电压范围为 0 ~ VREF，DAC_CR[DAC34MOD] = 1 时为半电压输出模式，输出电压范围 VHALF ~

VREF。不同配置下DAC4的输出电压如表 26-4所示。

表 26-4 不同配置下 DAC4 的电压输出

| DAC4_DR[5:0] | DAC4 输出电压
(DAC_CR[DAC34MOD] = 0) | DAC4 输出电压
(DAC_CR[DAC34MOD] = 1) |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0x00 | 0 | VHALF |
| 0x20 | VREF/2 | (VREF - VHALF)/2 + VHALF |
| 0x3F | VREF*63/64 | (VREF - VHALF)*63/64 + VHALF |

26.6 DAC 寄存器

26.6.1 DAC_CR (CSR:0x640)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|----------|--------|-----|---------|-----|-------|-----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DAC34MOD | DACMOD | RSV | DAC34EN | RSV | DACEN | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | r/w | - | r/w | - | r/w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|----------|--|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5] | DAC34MOD | DAC3、DAC4 模式设置
0: 全电压输出模式
1: 半电压输出模式 |
| [4] | DACMOD | DAC0、DAC1 模式设置
0: 全电压输出模式
1: 半电压输出模式 |
| [3] | RSV | 保留 |
| [2] | DAC34EN | DAC3、DAC4 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [1] | RSV | 保留 |
| [0] | DACEN | DAC0、DAC1 使能
0: 不使能
1: 使能 |

26.6.2 DAC0_DR (CSR:0x641)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DAC0_DR | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--------------|
| [31:9] | RSV | 保留 |
| [8:0] | DAC0_DR | DAC0 控制器数据输入 |

26.6.3 DAC1_DR (CSR:0x642)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DAC1_DR | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--------------|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5:0] | DAC1_DR | DAC1 控制器数据输入 |

26.6.4 DAC3_DR (CSR:0x644)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DAC3_DR | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--------------|
| [31:9] | RSV | 保留 |
| [8:0] | DAC3_DR | DAC3 控制器数据输入 |

26.6.5 DAC4_DR (CSR:0x645)

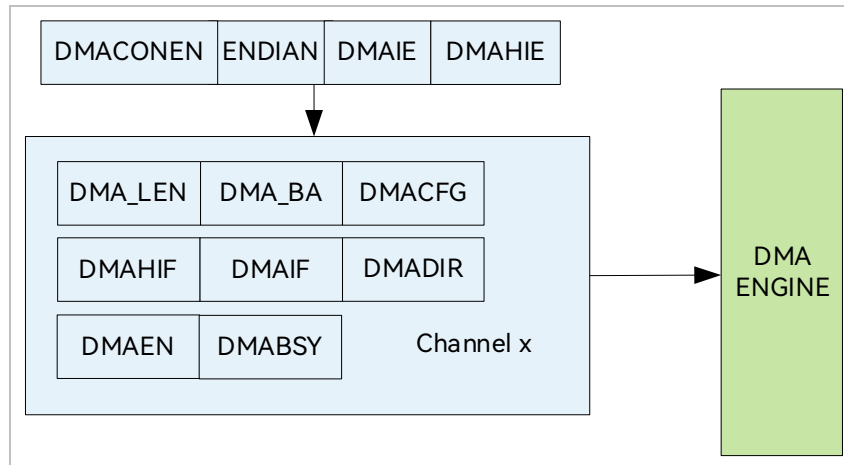
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DAC4_DR | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--------------|
| [31:6] | RSV | 保留 |
| [5:0] | DAC4_DR | DAC4 控制器数据输入 |

27 DMA

27.1 DMA 简介

图 27-1 DMA 功能框图



DMA 模块包含一个双通道的 DMA 控制器，它实现了外设(SPI、UART、I²C、LIN、DataMonitor 等模块)与 SRAM 之间的直接数据传输。传输过程中 DMA 对 SRAM 的访问动作不干扰 CPU 对 SRAM 的正常读写操作。传输的长度和 SRAM 访问的起始地址可设置，支持传输过程中的数据传输模式设置，支持中断使能。

27.2 DMA 主要特性

- > 6个独立的可配置的通道
- > 每个通道都直接连接专用的硬件DMA请求，每个通道都同样支持软件触发，这些功能通过软件配置。
- > 支持循环的缓冲器管理
- > 每个通道都有2个事件标志(DMA半传输和DMA传输完成)，这2个事件标志逻辑或成为一个单独的中断请求。
- > 外设到存储器、存储器到外设的传输
- > 可编程的数据传输数目：最大为1024

27.3 DMA 操作说明

27.3.1 DMA 处理

1. 配置并使能外设，再根据需求通过DMAx_CR[DMACFG]设置DMA接管的外设输入输出通道；
2. 设置DMA中断使能、传输顺序以及传输长度和SRAM起始地址，然后写DMAx_CR[DMAEN]和DMAx_CR[DMABSY] = 1，启动DMA；
3. 数据传输一半长度后，中断标志位DMAx_CR[DMAHIF]硬件置1，软件将其清0；数据传输完毕后，中断标志位DMAx_CR[DMAIF]硬件置1，软件将其清0；
4. 写DMAx_CR[DMABSY] = 1，即可再次启动DMA。

27.3.2 DMA 仲裁

多个 DMA 通道同时操作 SRAM 数据时，DMA 仲裁按照 DMA 通道编号进行依次数据读取，其中通道 0 优先级最高，通道 5 优先级最低。

多个 DMA 配置相同模式进行数据处理时，如果是发送模式，首先执行最先置位 DMAx_CR[DMABSY]的通道，然后按照通道编号依次处理；如果是接收模式，在数据到来前已置位 DMAx_CR[DMABSY]，则直接按照通道编号处理。

27.3.3 DMA 数据传输

每个通道都可以在有固定地址的外设寄存器和存储器地址之间执行 DMA 传输。DMA 传输的数据量是可编程的，最大达到 1024。DMAx_LEN 寄存器计数器，在每传输完一个数据后加 1。

27.3.3.1 可编程的数据量

外设和存储器的传输数据量可以直接通过 DMAx_LEN 寄存器编程。

该寄存器可写可读，但读写意义不同：写入的值为需要传输数据量的长度，写入的长度值不可读；读取的值为当前 DMA 数据传输的数据量，该值只可读取不可更改。

27.3.3.2 指针增量

DMA 操作数据最小单位为 Byte。在 DMA 配置为非 Timer 模块的配置选项时，DMA 指针增量都为 1；配置为 Timer 模块时，指针增量为 2。

27.3.3.3 循环模式

循环模式用于处理连续的数据传输。置高 DMAx_CR[DMACONEN]位用于开启这一功能。当启动了循环模式，数据传输完成时，将会自动地被恢复成配置通道时设置的初值，DMA 操作将会继续进行。

27.3.3.4 数据大小端

数据大小端格式由 DMAx_CR[ENDIAN]决定。DataMonitor 模式下数据格式为小端模式。

27.4 DMA 寄存器

27.4.1 DMAx_CR (CSR:0x0A0/0x0B0/0x0C0/0x0D0/0x0E0/0x0F0)

x 为 DMA 通道号，x = 0/1/2/3/4/5。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-------|----------|-------|--------|--------|-----|-----|-----|--------|--------|--------|-------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DMAHIE | DMAIE | DMACONEN | DMAEN | DMABSY | DMACFG | | | | DMADIR | ENDIAN | DMAHIF | DMAIF |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|----------------------------------|
| [31:13] | RSV | 保留 |
| [12] | DMAHIE | DMA 传输半完成中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [11] | DMAIE | DMA 中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [10] | DMACONEN | 循环模式
0: 不执行循环操作
1: 执行循环操作 |
| [9] | DMAEN | DMA 模块使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [8] | DMABSY | DMA 通道忙状态/启动
读: |


| | | |
|-------|--------|--|
| | | <p>0: 通道空闲
1: 通道正在传输</p> <p>写:</p> <p>0: 无意义
1: 启动通道开始传输</p> |
| [7:4] | DMACFG | <p>DMA 通道外设与方向选择位</p> <p>0000: 复用为 UART1
0001: 复用为 UART2
0010: 保留
0011: 复用为 SPI1
0100: 保留
0101: 复用为 I²C1
0110: 复用为 I²C2
0111: 复用为 LIN
1000: 保留
1001: 保留
1010: 复用为 T5DR
1011: 复用为 T5ARR
1100: 复用为 CRC
1101: 复用为 DataMonitor</p> <p> 备注:
当 DMA 通道忙状态时不可改变</p> |
| [3] | DMADIR | <p>DMA 方向选择</p> <p>0: 从外设到 RAM
1: 从 RAM 到外设</p> |
| [2] | ENDIAN | <p>DMA 数据传输顺序</p> <p>0: 高位字节先接收或发送
1: 低位字节先接收或发送</p> <p> 备注:
此位的设置针对 16 位数据模式，8 位数据模式时应配置为 0；当 DMA 通道忙状态时不可改变。</p> |
| [1] | DMAHIF | <p>DMA 半完成中断标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件</p> |

| | | |
|-----|-------|---|
| | | 写:
0: 清 0
1: 产生中断事件 |
| [0] | DMAIF | DMA 中断标志位
读:
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0
1: 产生中断事件 |

27.4.2 DMAx_LEN (CSR:0x0A1/0x0B1/0x0C1/0x0D1/0x0E1/0x0F1)

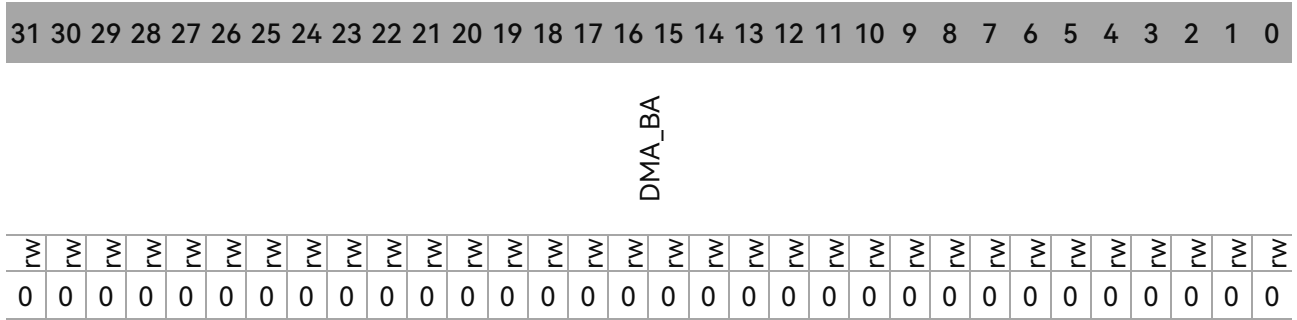
x 为 DMA 通道号, x = 0/1/2/3/4/5。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DMA_LEN | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | W | W | W | W | W | W | W | W | W | W |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |


| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|---|
| [31:10] | RSV | 保留 |
| [9:0] | DMA_LEN | DMA 通道传输长度配置
读: DMA 通道目前传输的字节是第几字节(0 表示第 1 字节)
写: DMA 通道 SRAM 数据传输长度
 备注:
当 DMA 通道忙状态时不可改变。当 DMAx_CR[ENDIAN] = 1(低字节先接收或发送)时, 推荐 DMA_LEN 设置为奇数。 |


27.4.3 DMA_x_BA (CSR:0x0A2/0x0B2/0x0C2/0x0D2/0x0E2/0x0F2)

x 为 DMA 通道号, x = 0/1/2/3/4/5。



| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|---|
| [31:0] | DMA_BA | DMA 通道传输数据起始地址设定
当 DMA 忙状态时不可改变

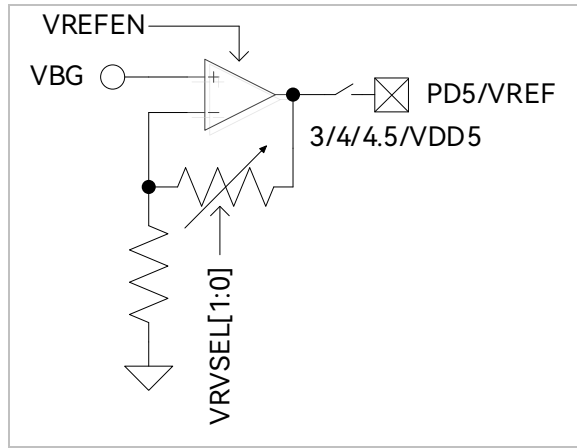
 备注:
通道传输的 SRAM 地址空间区域为: DMA _x _BA[11:0] ~ (DMA _x _BA[11:0] + DMA _x _LEN[5:0]) |

 **备注:**
 当 DMA 通道外设选择为 I²C 时(包括从 I²C 到 SRAM、从 SRAM 到 I²C), I²C 通讯的 START + Address 中断需 MCU 软件清除。I²C 为从机时, 若遇到 STOP, 配置 I2Cx_SR[I2CSTP] = 0 以清除 I²C 中断, 并重新启动 DMA 传输。

28 VREF

28.1 VREF 模块的操作说明

图 28-1 VREF 模块输入输出端口



VREF 模块输入输出端口如图 28-1 所示。VREF 是参考电压生成模块，给 ADC 和 DAC 模块提供内部参考基准电压。VBG 是由芯片内部提供的电压。

配置 VREF_VHALF_CR[VREFEN] = 1，使能 VREF。VREF_VHALF_CR[VRVSEL]选择输出电压。配置 PD_AN[5] = 1 且 PD_OE[5] = 1 输出 VREF 电压至 PD5，PD5 外接 1μF 电容。

28.2 VREF 寄存器

28.2.1 VREF_VHALF_CR (CSR:0x620)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|---------|---------|-----|--------|-----|---------|---|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | VHALFSEL1 | VHALFSEL0 | VRVSEL1 | VRVSEL0 | RSV | VREFEN | RSV | VHALFEN | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | - | rW | - | - | - | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | - | - | - | 0 |

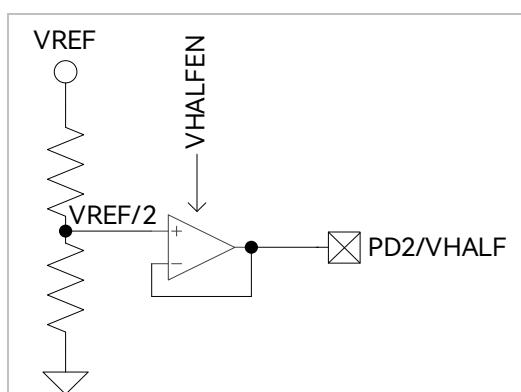
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----|----|
| [31:10] | RSV | 保留 |

| | | |
|-------|-----------|--|
| [9] | VHALFSEL1 | VHALF 工作电压选择(VREF 系数 1)
00: 1/8
01: 1/4
10: 25/64
11: 1/2(默认值) |
| [8] | VHALFSEL0 | VHALF 工作电压选择(VREF 系数 0)
00: 1/8
01: 1/4
10: 25/64
11: 1/2(默认值) |
| [7] | VRVSEL1 | VREF 电压配置 1
00: 4.5V
01: VDD5
10: 3V
11: 4V |
| [6] | VRVSEL0 | VREF 电压配置 0
00: 4.5V
01: VDD5
10: 3V
11: 4V |
| [5] | RSV | 保留 |
| [4] | VREFEN | VREF 模块使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [3:1] | RSV | 保留 |
| [0] | VHALFEN | VHALF 使能
0: 不使能
1: 使能 |

29 VHALF

29.1 VHALF 模块的操作说明

图 29-1 VHALF 模块的端口输入输出情况



VHALF 模块输入输出端口如图 29-1 所示。VHALF 的作用是产生参考电压，其电压值受寄存器 VREF_VHALF_CR[VHALFSEL] 控制，分别为 00: VREF/8、01: VREF/4、10: VREF*25/64、11: VREF/2(默认值)。

配置 VREF_VHALF_CR[VHALFEN] = 1，使能 VHALF，并将其输出至 PD2，PD2 外接 1 μ F 电容。

29.2 VHALF 寄存器

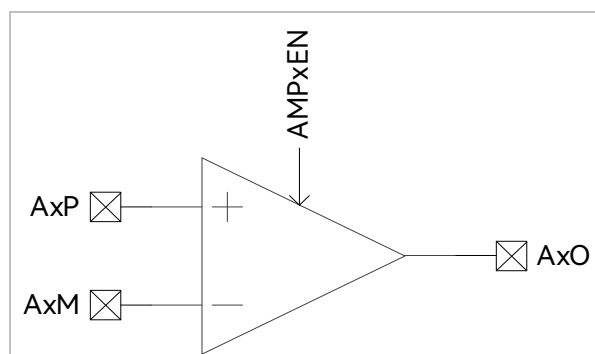
VHALF 寄存器参考 28.2.1。

30 运放

30.1 运放简介

芯片集成 6 个高速独立运算放大器 AMP0 ~ AMP2、AMP4 ~ AMP6。每个运放均有独立的使能端，均可配置为可编程增益放大器。

图 30-1 运算放大模块示意图

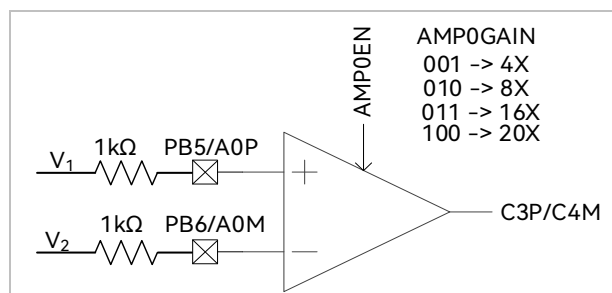


30.2 运放操作说明

30.2.1 母线电流采样运放(AMP0)

30.2.1.1 AMP0 PGA 差分输入模式

图 30-2 AMP0 工作在 PGA 差分输入模式



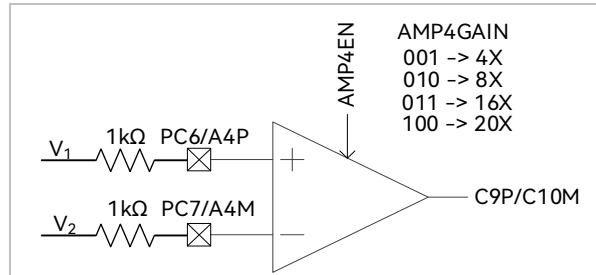
如图 30-2 所示，AMP0 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP0 PGA 差分输入模式时，通过 AMP_CR1[AMP0GAIN] 设定放大倍数，配置 AMP_CR0[AMP0EN] = 1，使能 AMP0。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V_1 - V_2) * AMP0GAIN$ 。

30.2.2 母线电流采样运放(AMP4)

30.2.2.1 AMP4 PGA 差分输入模式

图 30-3 AMP4 工作在 PGA 差分输入模式



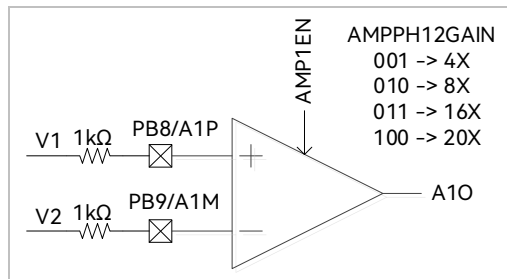
如图 30-3 所示，AMP4 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP4 PGA 差分输入模式时，通过 AMP_CR1[AMP4GAIN] 设定放大倍数，配置 AMP_CR0[AMP4EN] = 1，使能 AMP4。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V1 - V2) * AMP4GAIN$ 。

30.2.3 相电流运放(AMP1)

30.2.3.1 AMP1 PGA 差分输入模式

图 30-4 AMP1 工作在 PGA 差分输入模式



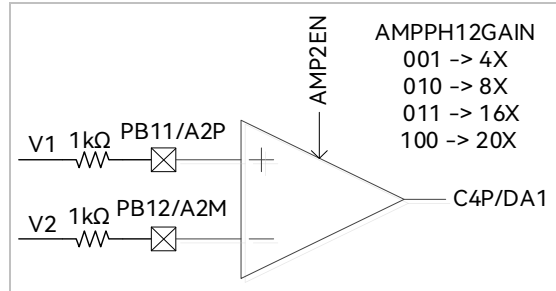
如图 30-4 所示，AMP1 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP1 PGA 差分输入模式时，通过 AMP_CR1[AMPPH12GAIN] 设定放大倍数；配置 AMP_CR0[AMP1EN] = 1，使能 AMP1。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V1 - V2) * AMPPH12GAIN$ 。

30.2.4 相电流运放(AMP2)

30.2.4.1 AMP2 PGA 差分输入模式

图 30-5 AMP2 工作在 PGA 差分输入模式



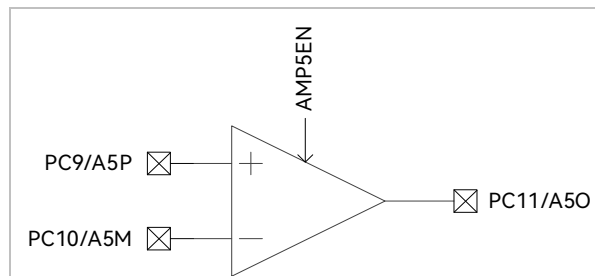
如图 30-5 所示，AMP2 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP2 PGA 差分输入模式时，通过 AMP_CR1[AMPPH12GAIN] 设定放大倍数；配置 AMP_CR0[AMP2EN] = 1，使能 AMP2。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V1 - V2) * AMPPH12GAIN$ 。

30.2.5 相电流运放(AMP5)

30.2.5.1 AMP5 普通模式

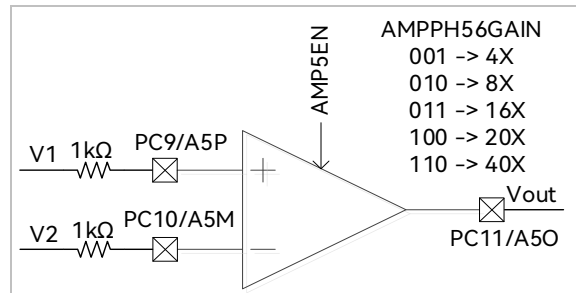
图 30-6 AMP5 输入输出相关端口



相电流运放输入输出端对应的端口如图 30-6 所示。配置 AMP_CR0[AMP5EN] = 1，使能相电流运放 AMP5，硬件将相关联的三个端口 PC9、PC10 和 PC11 全部设置成模拟信号模式，硬件自动设置 PC_AN[11:9] = 111。

30.2.5.2 AMP5 PGA 差分输入模式

图 30-7 AMP5 工作在 PGA 差分输入模式

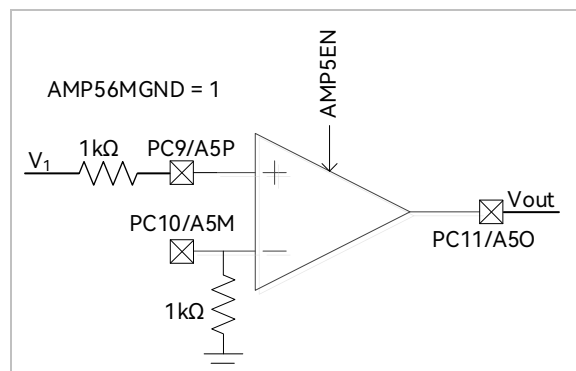


如图 30-7 所示，AMP5 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP5 PGA 差分输入模式时，通过 AMP_CR1[AMPPH56GAIN] 设定放大倍数；配置 AMP_CR0[AMP5EN] = 1，使能 AMP5。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V_1 - V_2) * AMPPH56GAIN$ 。

30.2.5.3 AMP5 PGA 单端输入模式

图 30-8 AMP5 工作在 PGA 单端输入模式

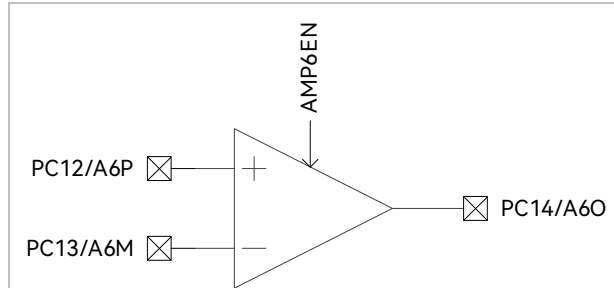


如图 30-8 所示，AMP5 的正输入端在外部电路串联一个 1kΩ 的电阻，负端输入在 MCU 内部接地。使用 AMP5 PGA 单端输入模式时，通过 AMP_CR1[AMPPH56GAIN] 设定放大倍数；配置 AMP_CR0 [AMP56MGND] = 1，AMP_CR0[AMP5EN] = 1，使能 AMP5。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + V_1 * AMPPH56GAIN$ 。

30.2.6 相电流运放(AMP6)

30.2.6.1 AMP6 普通模式

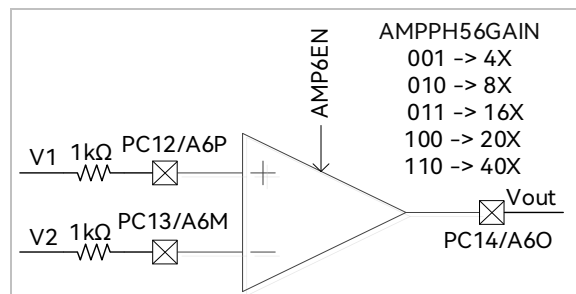
图 30-9 AMP6 输入输出相关端口



相电流运放输入输出端对应的端口如图 30-9 所示。配置 `AMP_CR0[AMP6EN] = 1`，使能相电流运放 AMP6，硬件将相关联的三个端口 PC12、PC13 和 PC14 全部设置成模拟信号模式，硬件自动设置 `PC_AN[14:12] = 111`。

30.2.6.2 AMP6 PGA 差分输入模式

图 30-10 AMP6 工作在 PGA 差分输入模式

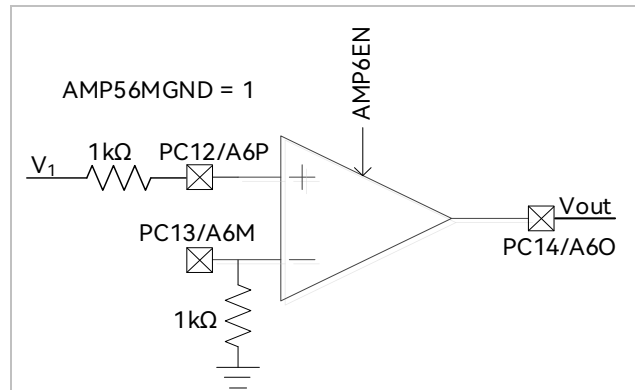


如图 30-10 所示，AMP6 的正输入端和负输入端在外部电路分别串联一个 1kΩ 的电阻。

使用 AMP6 PGA 差分输入模式时，通过 `AMP_CR1[AMPPH56GAIN]` 设定放大倍数；配置 `AMP_CR0[AMP6EN] = 1`，使能 AMP6。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + (V_1 - V_2) * AMPPH56GAIN$ 。

30.2.6.3 AMP6 PGA 单端输入模式

图 30-11 AMP6 工作在 PGA 单端输入模式



如图 30-11 所示，AMP6 的正输入端在外部电路串联一个 $1\text{k}\Omega$ 的电阻，负端输入在 MCU 内部接地。使用单 AMP6 PGA 单端输入模式时，通过 AMP_CR1[AMPPH56GAIN] 设定放大倍数；配置 AMP_CR0[AMP56MGND] = 1，配置 AMP_CR0[AMP6EN] = 1，使能 AMP6。运放的输出与输入之间的关系为： $V_{out} = V_{HALF} + V_1 * AMPPH56GAIN$ 。

30.3 运放寄存器

30.3.1 AMP_CR0 (CSR:0x621)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----------|-----------|----------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AMP56MGND | AMP4MGND | AMP12MGND | AMP0MGND | AMP6EN | AMP5EN | AMP4EN | RSV | AMP2EN | AMP1EN | AMP0EN | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | - | r/w | r/w | r/w | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----------|---|
| [31:11] | RSV | 保留 |
| [10] | AMP56MGND | AMP5&6 负输入端接 GND 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [9] | AMP4MGND | AMP4 负输入端接 GND 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [8] | AMP12MGND | AMP1&2 负输入端接 GND 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [7] | AMP0MGND | AMP0 负输入端接 GND 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [6] | AMP6EN | AMP6 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [5] | AMP5EN | AMP5 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [4] | AMP4EN | AMP4 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [3] | RSV | 保留 |
| [2] | AMP2EN | AMP2 使能 |

| | | |
|-----|--------|----------------------------|
| | | 0: 不使能
1: 使能 |
| [1] | AMP1EN | AMP1 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [0] | AMP0EN | AMP0 使能
0: 不使能
1: 使能 |

30.3.2 AMP_CR1 (CSR:0x622)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|----|-------------|----|----|----------|----|----|-----|----|----|----------|---|---|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | AMPPH56GAIN | | | AMPPH12GAIN | | | AMP4GAIN | | | RSV | | | AMP0GAIN | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | - | - | rW | rW | rW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|---|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14:12] | AMPPH56GAIN | AMP5/AMP6 运放放大倍数设置
000: 放大倍数由外部电路配置
001: 4 倍
010: 8 倍
011: 16 倍
100: 20 倍
101: 保留
110: 40 倍
111: 保留 |
| [11:9] | AMPPH12GAIN | AMP1/AMP2 运放放大倍数设置
000: 放大倍数由外部电路配置
001: 4 倍
010: 8 倍
011: 16 倍
100: 20 倍
101: 保留 |

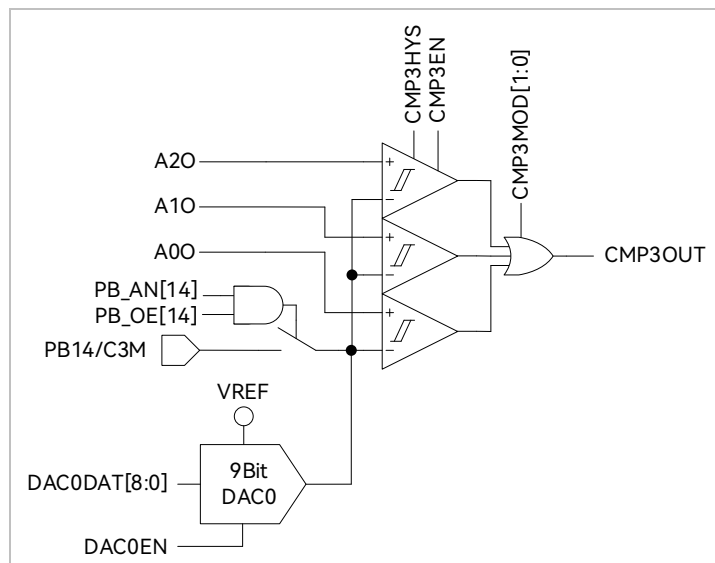
| | | |
|-------|----------|--|
| | | 110: 保留
111: 保留 |
| [8:6] | AMP4GAIN | AMP4 运放放大倍数设置
000: 放大倍数由外部电路配置
001: 4 倍
010: 8 倍
011: 16 倍
100: 20 倍
101: 保留
110: 保留
111: 保留 |
| [5:3] | RSV | 保留 |
| [2:0] | AMP0GAIN | AMP0 运放放大倍数设置
000: 放大倍数由外部电路配置
001: 4 倍
010: 8 倍
011: 16 倍
100: 20 倍
101: 保留
110: 保留
111: 保留 |

31 比较器

31.1 比较器操作说明

31.1.1 比较器 CMP3

图 31-1 CMP3 的输入输出端口



CMP3 的输入输出端口如图 31-1 所示。

配置 CMP3 的步骤为：

1. 选择负输入端参考电压，负输入端参考电压可使用外部电路输入电压或来自片内 DAC0 的输出电压；
 - 如果使用外部电路输入电压，需配置 $PB_AN[14] = 1$ 、 $PB_OE[14] = 1$ ，使 CMP3 负端信号输入至 PB14；
 - 如果使用 DAC0 输出，需配置 $DAC_CR[DACEN] = 1$ ，使能 DAC0，然后配置相应的 DAC0 码值；
 - 在使能 DAC0 的同时，可以配置 $PB_AN[14] = 1$ 、 $PB_OE[14] = 1$ ，在 PB14 和地之间外接电容(推荐容值 100pF，DAC0 输出一段时间后输出电压稳定)；
2. 配置 $CMP_CR1[CMP3MOD]$ ，选择单比较器输入、双比较器输入、三比较器输入模式；

- > 配置CMP_CR1[CMP3MOD] = 00，CMP3为单比较器输入模式，具体输入输出端口及接法如图31-2所示；
- > 配置CMP_CR1[CMP3MOD] = 01，CMP3为双比较器输入模式，具体输入输出端口及接法如图31-3所示；
- > 配置CMP_CR1[CMP3MOD] = 1x，CMP3为三比较器输入模式，具体输入输出端口及接法如图31-4所示；

3. 配置 CMP_CR1[CMP3HYS]，选择是否有迟滞；

4. 配置 CMP_CR1[CMP3EN] = 1，使能 CMP3。

图 31-2 单比较器输入模式

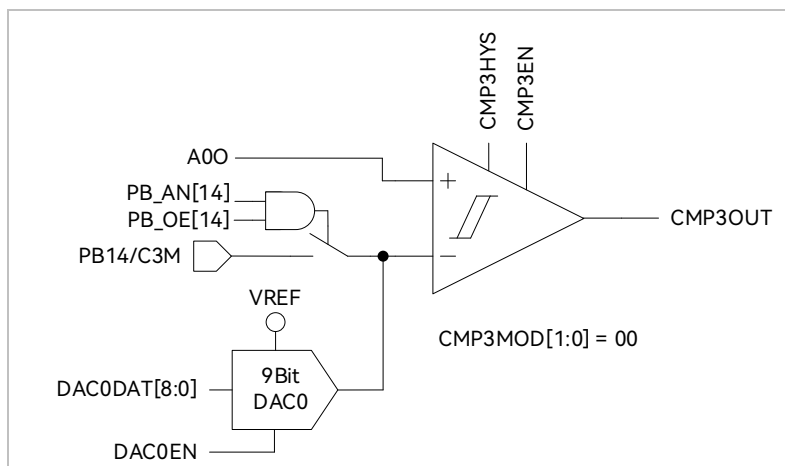


图 31-3 双比较器输入模式

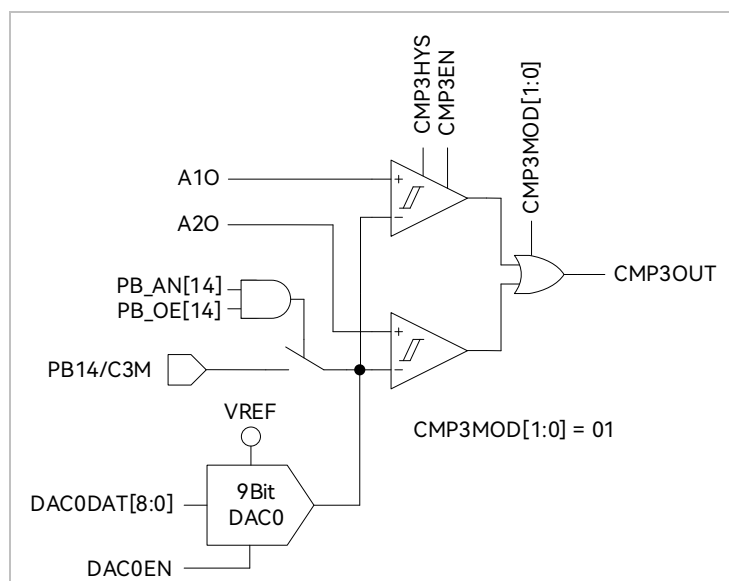
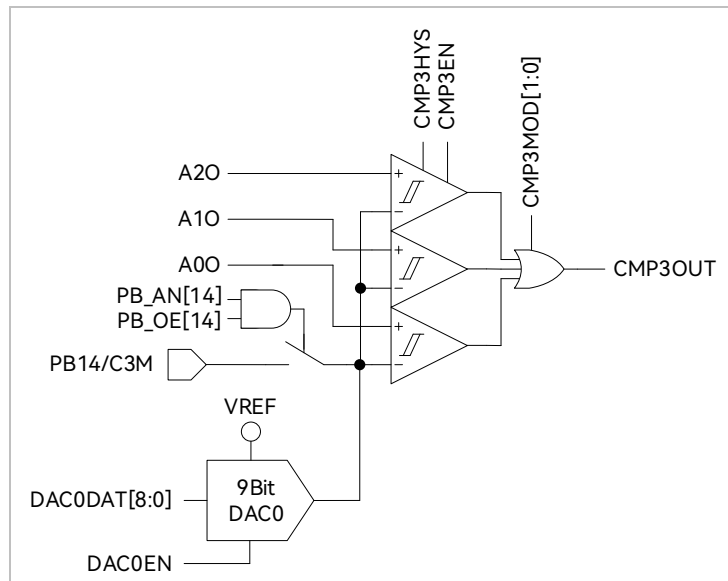


图 31-4 三比较器输入模式



31.1.1.1 主电机过流保护

当主电机过流保护信号产生时，自动将 DRV1_OUT[MOE]清 0，输出空闲电压，停止主电机的驱动，保护芯片和电机。配置 DRV1_CR[MOEMD] = 01，使能过流保护功能，电流超过设定值时自动关闭输出，同时产生过流保护中断请求。配置 DRV1_CR[MOEMD] = 00，过流时不会自动关闭输出，但会产生过流保护中断请求。

主电机过流保护事件可配置 DRV1_CR[MOEMD]不为 00、DRV1_CR[OCP_MOEMD] = 01 选择过流保护由 CMP3 中断产生。配置 CMP_CR0[CMP3IM] = 11，过流保护信号由 CMP3 的上升沿产生，此时保护中断为 CMP3 中断。当处于三电阻电流采样模式下，配置 CMP_CR1[CMP3MOD]为三比较器输入模式，任意一相电流过流时，CMP3 中断产生过流保护信号；除三电阻电流采样模式外，配置 CMP_CR1[CMP3MOD]为单比较器输入模式，母线过流时，由 CMP3 产生过流保护信号。

主电机过流保护事件的输入信号可配置 CMP_CR3[CMP3FSEL]使能滤波功能，通过配置 CMP_CR3[CMP3FSEL]= 01/10/11 选择滤波宽度为 4/8/16 个时钟周期。使能滤波功能后，滤波后的信号会比滤波前的信号延迟 4/8/16 个时钟周期。

31.1.1.2 主电机逐波限流

当主电机过流保护事件发生，DRV1_OUT[MOE]被清 0 一段时间后，由硬件将其置 1，自动恢复电机驱动。配置 CMP_CR0[CMP3IM] = 11，DRV1_OUT[MOE]在 CMP3OUT 的上升沿清 0，产生保护动作。配置 DRV1_CR[MOEMD] = 10，产生保护事件后自动关闭输出，在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 10 μ s 之

后，自动使能 DRV1_OUT[MOE]，恢复驱动。如果配置 DRV1_CR[MOEMD] = 11，产生保护事件后自动关闭输出；在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 5 μ s 之后，自动使能 DRV1_OUT[MOE]，恢复驱动。

图 31-5 DRV1_CR[MOEMD] = 10，逐波限流波形(t2 - t1 = 10 μ s)

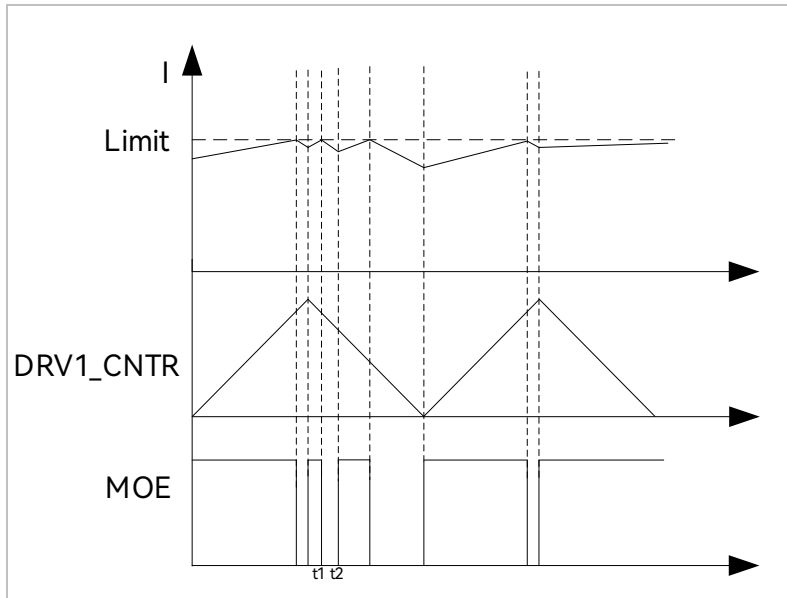
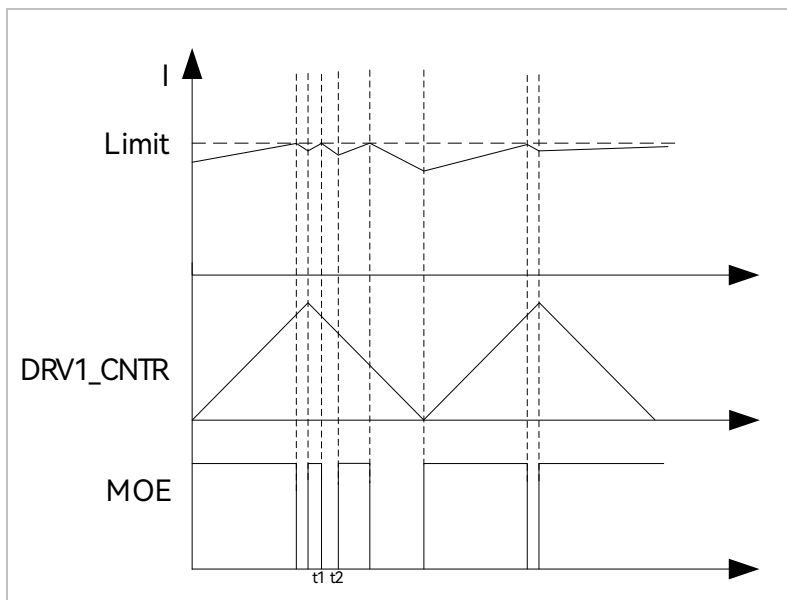
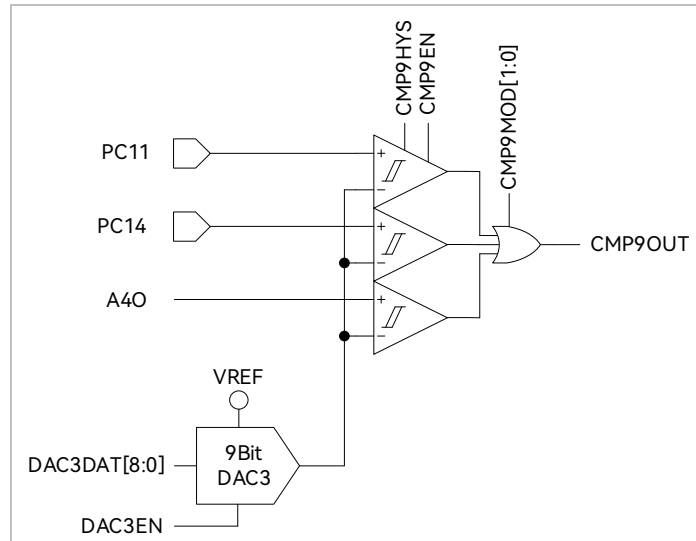


图 31-6 DRV1_CR[MOEMD] = 11，逐波限流波形(t2 - t1 = 5 μ s)



31.1.2 比较器 CMP9

图 31-7 CMP9 的输入输出端口



CMP9 的输入输出端口如图 31-7 所示。

配置 CMP9 的步骤为：

1. 配置DAC_CR[DAC34EN] = 1, 使能DAC3, 然后配置相应的DAC3码值, 选择负输入端参考电压;
2. 配置CMP_CR5[CMP9MOD], 选择单比较器输入、双比较器输入、三比较器输入模式;
 - 配置CMP_CR5[CMP9MOD] = 00, CMP9为单比较器输入模式, 具体输入输出端口及接法如图 31-8所示;
 - 配置CMP_CR5[CMP9MOD] = 01, CMP9为双比较器输入模式, 具体输入输出端口及接法如图 31-9所示;
 - 配置CMP_CR5[CMP9MOD] = 1x, CMP9为三比较器输入模式, 具体输入输出端口及接法如图 31-10所示;
3. 配置CMP_CR5[CMP9HYS], 选择是否有迟滞;
4. 配置CMP_CR5[CMP9EN] = 1, 使能CMP9。

图 31-8 单比较器输入模式

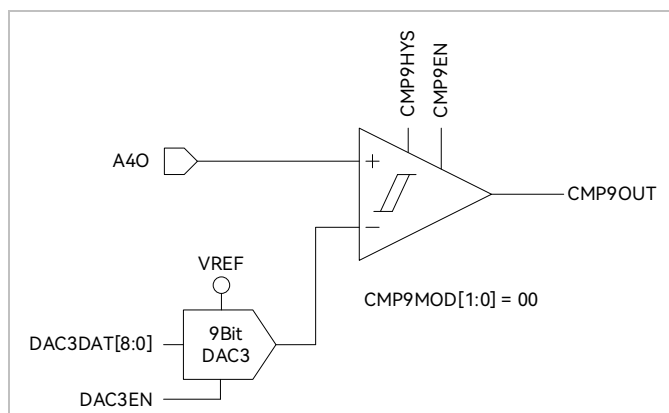


图 31-9 双比较器输入模式

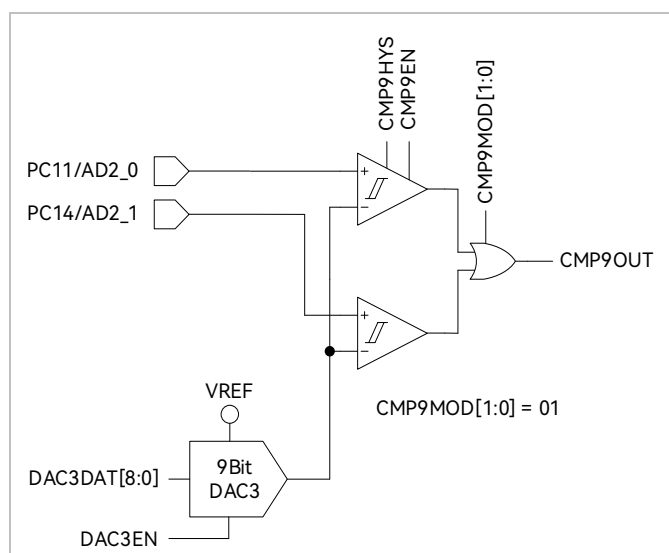
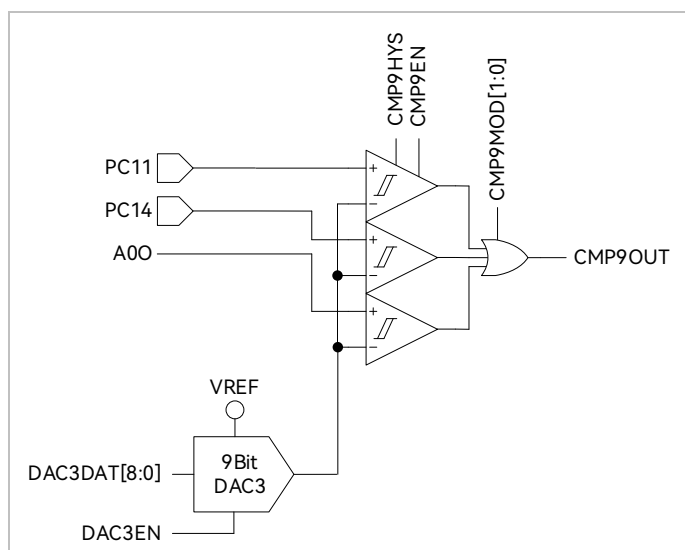


图 31-10 三比较器输入模式



31.1.2.1 从电机过流保护

当从电机过流保护信号产生时，自动将 DRV2_OUT[MOE]清 0，输出空闲电压，停止从电机的驱动，保护芯片和电机。配置 DRV2_CR[MOEMD] = 01，使能过流保护功能，电流超过设定值时自动关闭输出，同时产生过流保护中断请求。配置 DRV2_CR[MOEMD] = 00，过流时不会自动关闭输出，但会产生过流保护中断请求。

从电机过流保护事件可配置 DRV2_CR[MOEMD]不为 00，DRV2_CR[OCP_MOEMD] = 1 选择过流保护由 CMP9 中断产生。配置 CMP_CR4[CMP9IM] = 11，过流保护信号由 CMP9 的上升沿产生，此时保护中断为 CMP9 中断。当处于三电阻电流采样模式下，配置 CMP_CR5[CMP9MOD]为三比较器输入模式，任意一相电流过流时，CMP9 中断产生过流保护信号；除三电阻电流采样模式外，配置 CMP_CR5[CMP9MOD]为单比较器输入模式，母线过流时，由 CMP9 产生过流保护信号。

从电机过流保护事件的输入信号可配置 CMP_CR3[CMP9FSEL]使能滤波功能，通过配置 CMP_CR3[CMP9FSEL]= 01/10/11 选择滤波宽度为 4/8/16 个时钟周期。使能滤波功能后，滤波后的信号会比滤波前的信号延迟 4/8/16 个时钟周期。

31.1.2.2 从电机逐波限流

当从电机过流保护事件发生，DRV2_OUT[MOE]被清 0 一段时间后，由硬件将其置 1，自动恢复电机驱动。配置 CMP_CR4[CMP9IM] = 11，DRV2_OUT[MOE]在 CMP9OUT 的上升沿清 0，产生保护动作。配置 DRV2_CR[MOEMD] = 10，产生保护事件后自动关闭输出，在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 10 μ s 之后，自动使能 DRV2_OUT[MOE]，恢复驱动。如果配置 DRV2_CR[MOEMD] = 11，产生保护事件后自动关闭输出；在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 5 μ s 之后，自动使能 DRV2_OUT[MOE]，恢复驱动。

图 31-11 DRV2_CR[MOEMD] = 10，逐波限流波形(t2 - t1 = 10 μ s)

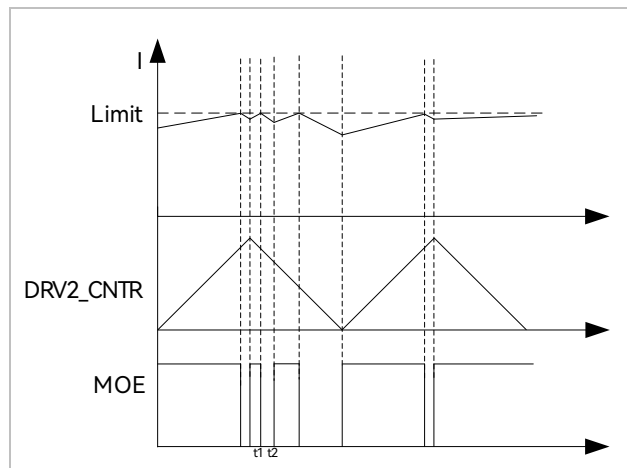
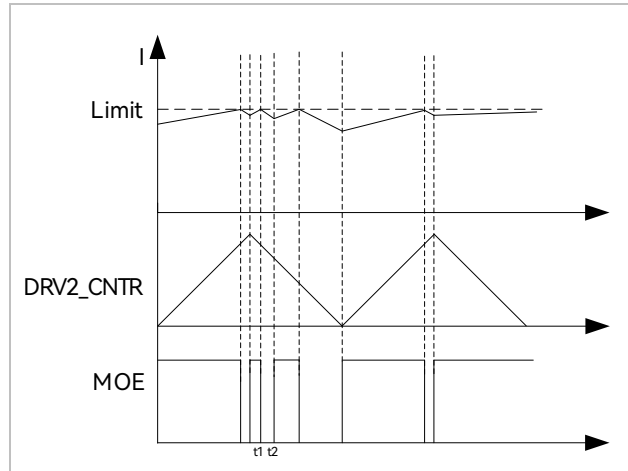


图 31-12 DRV2_CR[MOEMD] = 11, 逐波限流波形($t_2 - t_1 = 5\mu s$)



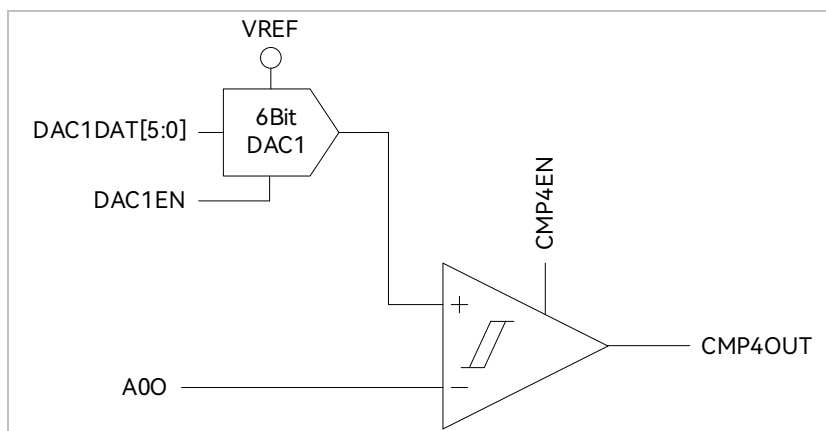
31.1.3 比较器 CMP4

CMP4 的输入输出端口如图 31-13 所示。CMP4OUT 可由软件读取或外部中断 EXTIO 判断是否翻转。当 CMP3 用于逐波限流保护时，使用 CMP4 作为主电机母线电流保护。CMP4 触发主电机母线电流过流保护后需要软件关闭输出。

配置 CMP4 的步骤为:

1. 配置CMP_CR1[CMP4EN] = 1, 使能CMP4;
2. 配置CMP_IFR[CMP4IF] = 0, CMP4中断标志位清0;
3. 配置CMP_CR0[CMP4IM] = 10, 使能CMP4中断并选择下降沿触发。

图 31-13 CMP4 模块示意图



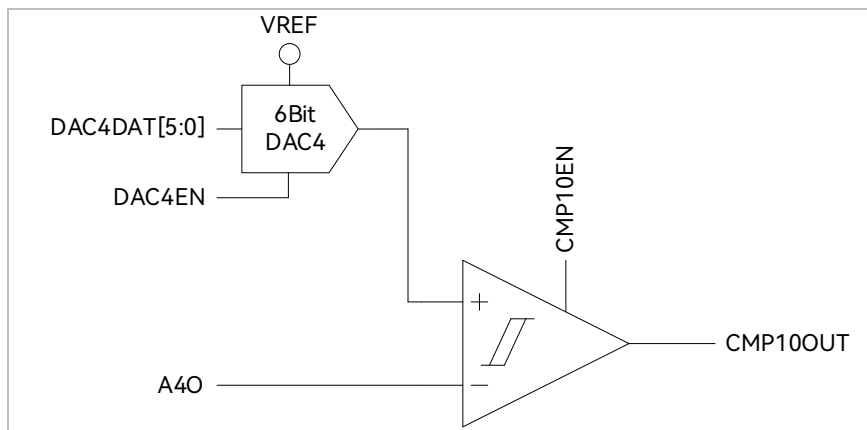
31.1.4 比较器 CMP10

CMP10 的输入输出端口如图 31-14 所示。CMP10OUT 可由软件读取或外部中断 EXTI0 判断是否翻转。当 CMP9 用于逐波限流保护时，使用 CMP10 作为主电机母线电流保护。CMP10 触发主电机母线电流过流保护后需要软件关闭输出。

配置 CMP10 的步骤为：

1. 配置CMP_CR5[CMP10EN] = 1，使能CMP10；
2. 配置CMP_IFR[CMP10IF] = 0，CMP10中断标志位清0；
3. 配置CMP_CR4[CMP10IM] = 10，使能CMP10中断并选择下降沿触发。

图 31-14 CMP10 模块示意图



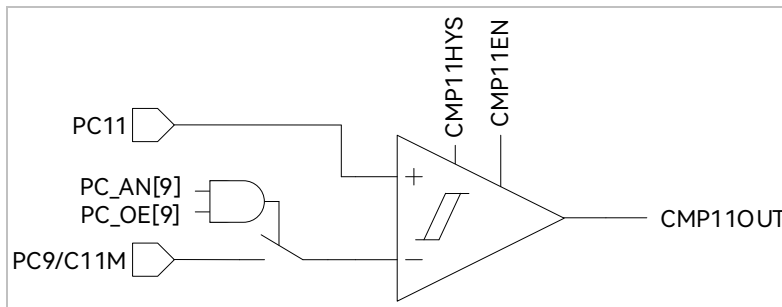
31.1.5 比较器 CMP11

CMP11 为一个迟滞比较器，参考图 31-15。CMP11OUT 可由软件读取。

配置 CMP11 的步骤为：

1. 配置PC_AN[9] = 1、PC_OE[9] = 1，使能CMP11负输入端参考电压；
2. 配置PC_AN[11] = 1，PC11为模拟信号模式；
3. 配置CMP_CR1[CMP11HYS] = 1，使能CMP11迟滞；
4. 配置CMP_CR1[CMP11EN] = 1，使能CMP11。

图 31-15 CMP11 模块示意图



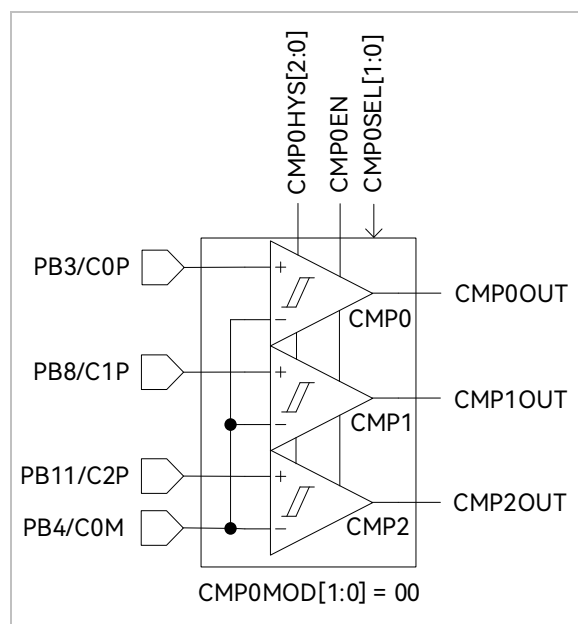
31.1.6 比较器组 CMPG1

比较器组 CMPG1 是 CMP0、CMP1 和 CMP2 的集合，有多种比较模式，分别用于不同应用场景。

31.1.6.1 无内置电阻三比较器模式

配置 $CMP_CR2[CMP0MOD] = 00$ ，选择无内置电阻三比较器模式，输入输出端口如图 31-16 所示，用于外置虚拟中心点电阻的电机反电动势 BEMF 检测。三路比较器的负输入端连在一起接 PB4，正输入端分别接 PB3、PB8、PB11，输出分别为 CMP0OUT、CMP1OUT、CMP2OUT。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR2[CMP0SEL]$ 决定， $CMP_CR2[CMP0SEL] = 00$ ，CMP0、CMP1 和 CMP2 三路比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 01$ ，仅 CMP0 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 10$ ，仅 CMP1 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 11$ ，仅 CMP2 工作，其余两个 CMP 闲置。

图 31-16 无内置电阻三比较器模式

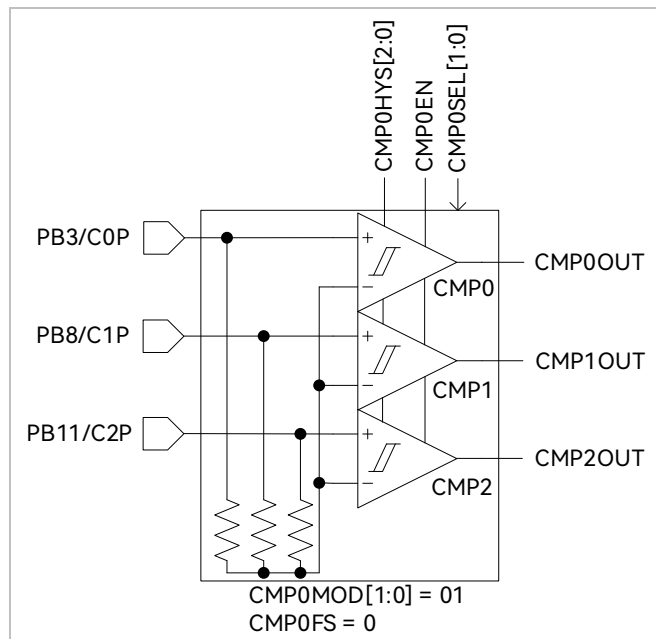


31.1.6.2 内置电阻三比较器模式

配置 $CMP_CR2[CMP0MOD] = 01$ ，选择内置电阻三比较器模式，用于内置虚拟中心点电阻的电机反电动势 BEMF 检测。此时可通过设置功能转移位 $CMP_CR2[CMP0FS]$ 选择输入端口。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR2[CMP0SEL]$ 决定， $CMP_CR2[CMP0SEL] = 00$ ，CMP0、CMP1 和 CMP2 三路比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 01$ ，仅 CMP0 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 10$ ，仅 CMP1 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 11$ ，仅 CMP2 工作，其余两个 CMP 闲置。

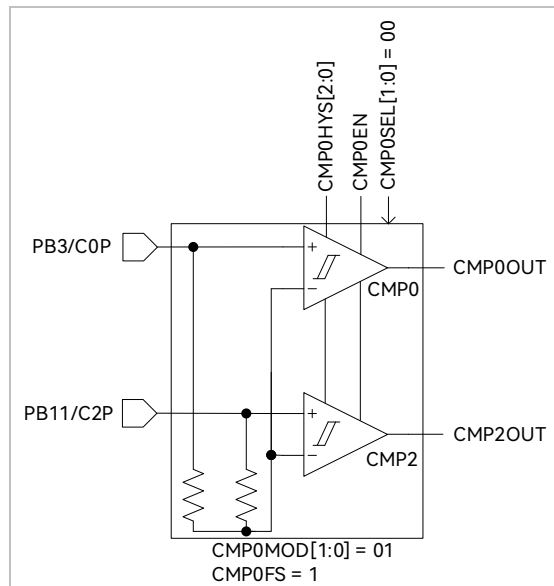
配置 $CMP_CR2[CMP0FS] = 0$ ，输入输出端口如图 31-17 所示，三路比较器的负输入端连在一起接内置电阻中心点，正输入端分别接 PB3、PB8 和 PB11，输出分别为 CMP0OUT、CMP1OUT 和 CMP2OUT。

图 31-17 内置电阻三比较器模式，无功能转移



配置 $CMP_CR2[CMP0FS] = 1$ ，输入输出端口如图 31-18 所示，两路比较器的负输入端连在一起接内置电阻中心点，正输入端分别接 PB3 和 PB4，输出分别为 CMP0OUT 和 CMP2OUT。

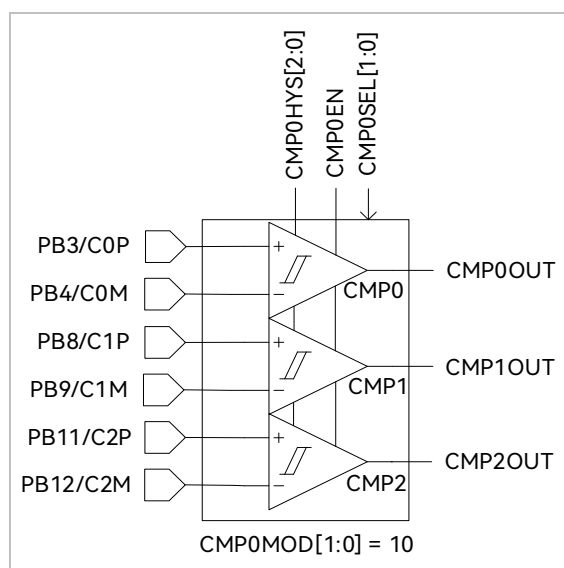
图 31-18 内置电阻双比较器模式，功能转移



31.1.6.3 差分三比较器模式

配置 $CMP_CR2[CMP0MOD] = 10$ ，选择差分三比较器模式，输入输出端口如图 31-19 所示，用于差分 Hall 传感器检测电机转子位置。三路比较器的负输入端分别接 PB4、PB9 和 PB12，正输入端分别接 PB3、PB8 和 PB11，输出分别为 CMP0OUT、CMP1OUT 和 CMP2OUT。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR2[CMP0SEL]$ 决定， $CMP_CR2[CMP0SEL] = 00$ ，CMP0、CMP1 和 CMP2 三路比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 01$ ，仅 CMP0 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 10$ ，仅 CMP1 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR2[CMP0SEL] = 11$ ，仅 CMP2 工作，其余两个 CMP 闲置。

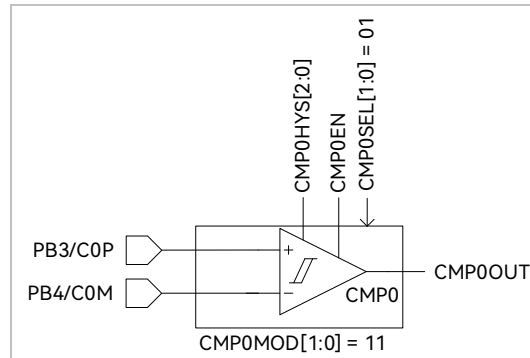
图 31-19 差分三比较器模式



31.1.6.4 CMP0 模式

配置 $CMP_CR2[CMP0MOD] = 11$ ， $CMP_CR2[CMP0SEL] = 01$ ，仅 CMP0 工作。

图 31-20 CMP0 模式



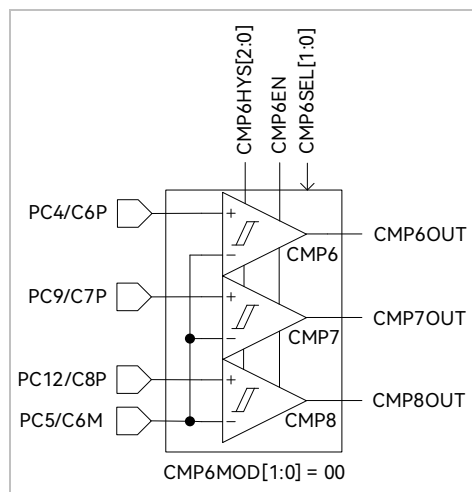
31.1.7 比较器组 CMPG2

比较器组 CMPG2 是 CMP6、CMP7 和 CMP8 的集合，有多种比较模式，分别用于不同应用场景。

31.1.7.1 无内置电阻三比较器模式

配置 $CMP_CR6[CMP6MOD] = 00$ ，选择无内置电阻三比较器模式，输入输出端口如图 31-21 所示，用于外置虚拟中心点电阻的电机反电动势 BEMF 检测。三路比较器的负输入端连在一起接 PC5，正输入端分别接 PC4、PC9、PC12，输出分别为 CMP6OUT、CMP7OUT、CMP8OUT。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR6[CMP6SEL]$ 决定， $CMP_CR6[CMP6SEL] = 00$ ，CMP6、CMP7 和 CMP8 三路比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 01$ ，仅 CMP6 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 10$ ，仅 CMP7 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 11$ ，仅 CMP8 工作，其余两个 CMP 闲置。

图 31-21 无内置电阻三比较器模式

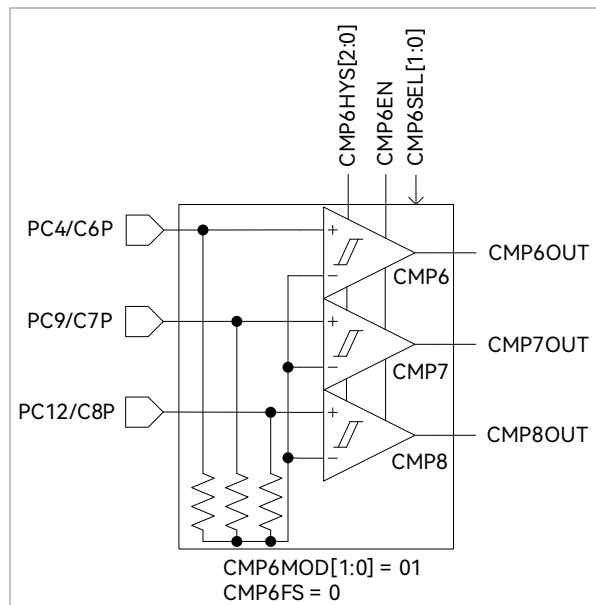


31.1.7.2 内置电阻三比较器模式

配置 $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6MOD}] = 01$ ，选择内置电阻三比较器模式，用于内置虚拟中心点电阻的电机反电动势 BEMF 检测。此时可通过设置功能转移位 $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6FS}]$ 选择输入端口。此模式下具体比较器工作个数由 $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6SEL}]$ 决定， $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6SEL}] = 00$ ，CMP6、CMP7 和 CMP8 三比较器同时工作，为推荐设置； $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6SEL}] = 01$ ，仅 CMP6 工作，其余两个 CMP 闲置； $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6SEL}] = 10$ ，仅 CMP7 工作，其余两个 CMP 闲置； $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6SEL}] = 11$ ，仅 CMP8 工作，其余两个 CMP 闲置。

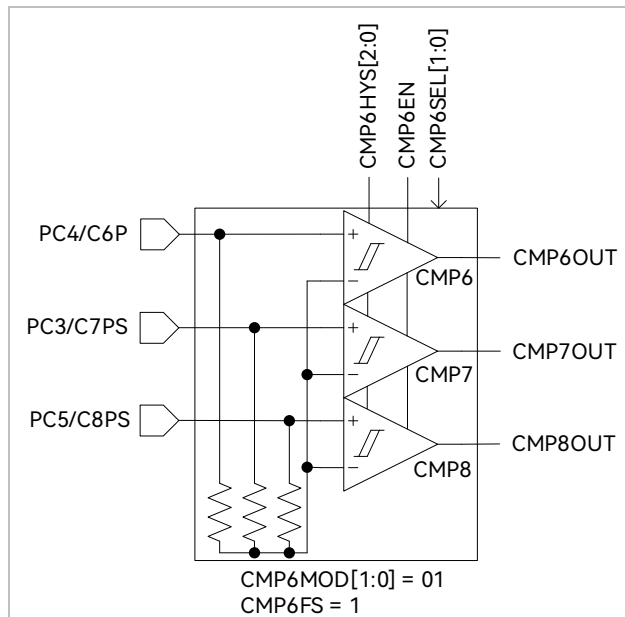
配置 $\text{CMP_CR6}[\text{CMP6FS}] = 0$ ，输入输出端口如图 31-22 所示，三比较器的负输入端连在一起接内置电阻中心点，正输入端分别接 PC4、PC9 和 PC12，输出分别为 CMP6OUT、CMP7OUT 和 CMP8OUT。

图 31-22 内置电阻三比较器模式，无功能转移



$\text{CMP_CR6}[\text{CMP6FS}] = 1$ ，输入输出端口如图 31-23 所示，三路比较器的负输入端连在一起接内置电阻中心点，正输入端分别接 PC4、PC3 和 PC5，输出分别为 CMP6OUT、CMP7OUT 和 CMP8OUT。

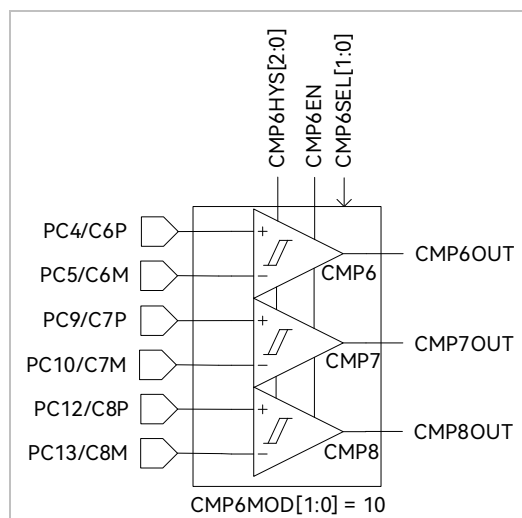
图 31-23 内置电阻三比较器模式，功能转移



31.1.7.3 差分三比较器模式

配置 $CMP_CR6[CMP6MOD] = 10$ ，选择差分三比较器模式，输入输出端口如图 31-24 所示，用于差分 Hall 传感器检测电机转子位置。三比较器的负输入端分别接 PC5、PC10 和 PC13，正输入端分别接 PC4、PC9 和 PC12，输出分别为 CMP6OUT、CMP7OUT 和 CMP8OUT。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR6[CMP6SEL]$ 决定， $CMP_CR6[CMP6SEL] = 00$ ，CMP6、CMP7 和 CMP8 三路比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 01$ ，仅 CMP6 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 10$ ，仅 CMP7 工作，其余两个 CMP 闲置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 11$ ，仅 CMP8 工作，其余两个 CMP 闲置。

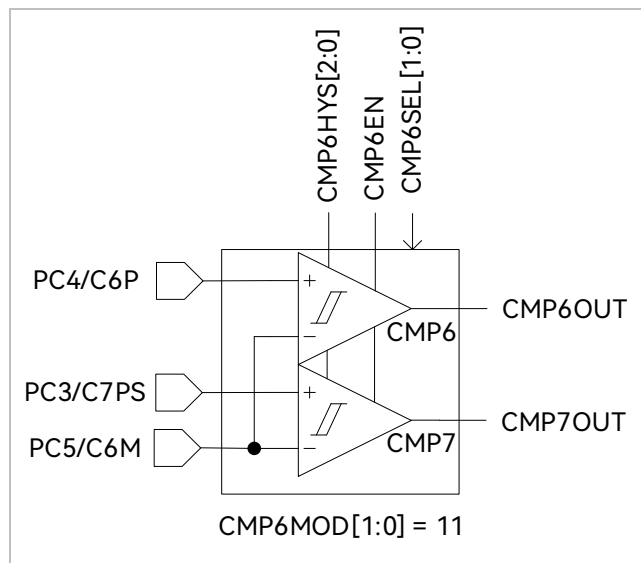
图 31-24 差分三比较器模式



31.1.7.4 双比较器模式

配置 $CMP_CR6[CMP6MOD] = 11$ ，选择双比较器模式，输入输出端口如图 31-25 所示，用于电机转速检测。双比较器的负输入端连在一起接 PC5，正输入端分别接 PC4 和 PC3，输出分别为 CMP6OUT 和 CMP7OUT。此模式下具体比较器工作个数由 $CMP_CR6[CMP6SEL]$ 决定， $CMP_CR6[CMP6SEL] = 00$ ，CMP6 和 CMP7 双比较器同时工作，为推荐设置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 01$ ，仅 CMP6 工作，CMP7 闲置； $CMP_CR6[CMP6SEL] = 10$ ，仅 CMP7 工作，CMP6 闲置。

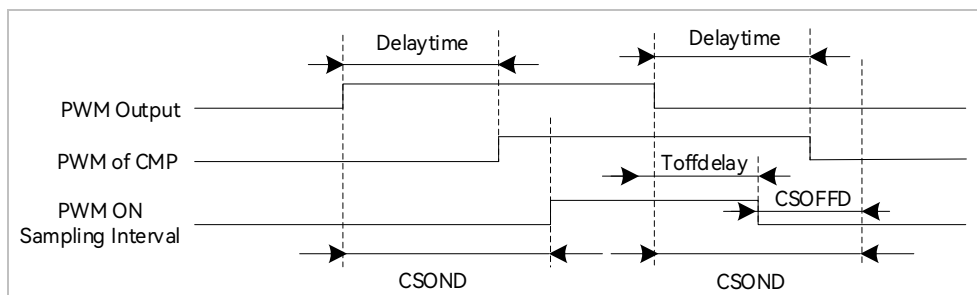
图 31-25 双比较器模式



31.1.8 比较器采样

比较器采样功能主要用于 RSD 顺逆风判断功能，可消除来自于驱动电路的开关干扰。应用于 RSD 请参考章节 15.2.5.1。

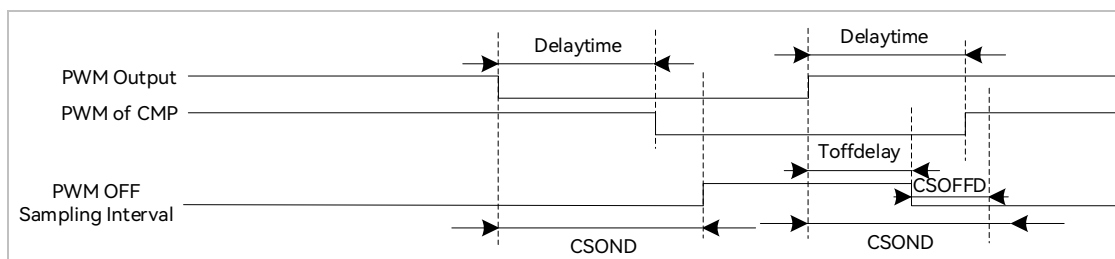
图 31-26 PWM ON 采样模式



PWM 输出反映到比较器的输出存在延迟，该延迟主要受以下因素影响：驱动电阻的大小，功率器件的开关速度，比较器的输入延迟和迟滞设置。图中的延迟时间为从芯片输出电平到比较器输出电平的延迟时

间。进行高电平采样时，采样区间应被比较器实际输出的高电平所包络，首先设置采样开始延迟时间 CMP_SAMR[CSOND]以越过延迟以及功率器件开关的振铃区间。采样区间结束时刻为芯片输出 PWM 下降沿后延迟 CMP_SAMR[CSOND]，此时实际采样窗口已经超出比较器上高电平对应的区间。设置采样停止提前时间 CMP_SAMR[CSOFFD]，使得采样窗口在 PWM 输出下降沿延迟 Toffdelay($Toffdelay = CMP_SAMR[CSOND] - CMP_SAMR[CSOFFD]$) 后关闭。通过配置 CMP_SAMR[CSOND] 和 CMP_SAMR[CSOFFD]，可使采样区间位于比较器实际输出的高电平区间。

图 31-27 PWM OFF 采样模式



同理，进行低电平采样时，设置采样开始延迟时间 CMP_SAMR[CSOND]和采样停止提前时间 CMP_SAMR[CSOFFD]，使实际采样区间位于比较器实际输出的低电区间。

测量 PWM 输出到比较器的延迟方法: 设置 CMP_CR2[CMPSAMSEL] = 00，禁止比较器采样延迟功能。使能 PWM 输出和比较器，手动转动电机使比较器值翻转，测量 PWM 输出和比较器输出之间延迟。

31.2 比较器寄存器

31.2.1 CMP_CR0 (CSR:0x600)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | RSV | CMP4IM | CMP3IM | CMP2IM | CMP1IM | CMP0IM | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|---------------------------------------|
| [31:10] | RSV | 保留 |
| [9:8] | CMP4IM | CMP4 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断 |

| | | |
|-------|--------|---|
| | | <p>10: 下降沿产生中断
11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [7:6] | CMP3IM | <p>CMP3 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断；DRV1_CR[MOEMD]配置为非 0 状态时，DRV1_CR[MOE]清 0^[1]
10: 下降沿产生中断；DRV1_CR[MOEMD]配置为非 0 状态时，DRV1_CR[MOE]清 0
11: 上升沿使 DRV1_CR[MOE]清 0，中断事件标志位 CMP_SR[CMP3IF]置 1，但不产生中断^[2]</p> <p> 备注:</p> <p>[1] MOE配置详情参考17.16.2.3
[2] CMP3用于逐波限流功能，需配置DRV1_CR[MOEMD] = 10/11。</p> |
| [5:4] | CMP2IM | <p>CMP2 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断
10: 下降沿产生中断
11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [3:2] | CMP1IM | <p>CMP1 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断
10: 下降沿产生中断
11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [1:0] | CMP0IM | <p>CMP0 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断
10: 下降沿产生中断
11: 上升/下降沿均产生中断</p> |

31.2.2 CMP_CR1 (CSR:0x601)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----|---------|-----|--------|---------|--------|---------|-----|---------|----|---|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP11HYS | RSV | CMP11EN | RSV | CMP4EN | CMP3MOD | CMP3EN | CMP3HYS | RSV | CMP0HYS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rW | - | rW | - | rW | rW | rW | rW | rW | rW | - | rW | rW | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|---|
| [31:12] | RSV | 保留 |
| [11] | CMP11HYS | CMP11 的迟滞配置
0: 无迟滞
1: 有迟滞 |
| [10] | RSV | 保留 |
| [9] | CMP11EN | CMP11 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [8] | RSV | 保留 |
| [7] | CMP4EN | CMP4 使能端
0: 不使能
1: 使能 |
| [6:5] | CMP3MOD | CMP3 的模式选择
负输入端接 PB14 或 DAC0 输出
00: 单比较器模式, A00 接正输入端, 参考图 31-2
01: 双比较器模式, A10 和 A20 接正输入端, 参考图 31-3
1x: 三比较器模式, A00、A10 和 A20 接正输入端, 参考图 31-4 |
| [4] | CMP3EN | CMP3 使能端
0: 不使能
1: 使能 |
| [3] | CMP3HYS | CMP3 的迟滞配置
0: 无迟滞
1: 有迟滞 |
| [2] | RSV | 保留 |
| [1:0] | CMP0HYS | CMP0/1/2 的迟滞配置
00: 无迟滞 |

表 31-1 CMPG1 端口与 CMP_CR2[CMP0MOD]组合的功能描述

| CMP0MOD | CMP0SEL | 功能描述 |
|---------|---------|---|
| 00 | 00 | CMP0/1/2 同时工作，参考图 31-16，三路比较器的负端均接 C0M，硬件将正输入端 C0P、C1P、C2P 分别与公共负输入端 C0M 比较，其输出结果分别送至 CMP_SR[CMP0OUT]、CMP_SR[CMP1OUT]、CMP_SR[CMP2OUT] |
| | 01 | CMP0 工作，CMP1/2 闲置，正输入端接 C0P，负输入端接 C0M，输出接 CMP_SR[CMP0OUT] |
| | 10 | CMP1 工作，CMP0/2 闲置，正输入端接 C1P，负输入端接 C0M，输出接 CMP_SR[CMP1OUT] |
| | 11 | CMP2 工作，CMP0/1 闲置，正输入端接 C2P，负输入端接 C0M，输出接 CMP_SR[CMP2OUT] |
| 01 | 00 | CMP0/1/2 同时工作，参考图 31-17，三路比较器的负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点。当 CMP_CR2[CMP0FS] = 0 时，硬件自动将正输入端 C0P、C1P、C2P 分别与公共负输入端 C0M 比较；当 CMP_CR2[CMP0FS] = 1 时，硬件自动将正输入端 C0P、C2PS 分别与公共负输入端 C0M 比较，输出结果分别送至 CMP_SR[CMP0OUT]、CMP_SR[CMP2OUT] |
| | 01 | CMP0 工作，CMP1/2 闲置，正输入端接 C0P，负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点，输出接 CMP_SR[CMP0OUT] |
| | 10 | CMP1 工作，CMP0/2 闲置
CMP_CR2[CMP0FS] = 0，正输入端接 C1P，负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点，输出接 CMP_SR[CMP1OUT] |
| | 11 | CMP2 工作，CMP0/1 闲置
CMP_CR2[CMP0FS] = 0，正输入端接 C2P，
CMP_CR2[CMP0FS] = 1，正输入端接 C2PS
负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点，输出接 CMP_SR[CMP2OUT] |
| 10 | 00 | CMP0/1/2 同时工作，参考图 31-19，三路比较器的正输入端分别接 C0P、C1P、C2P，与之对应的负输入端分别接 C0M、C1M、C2M，其输出 |

| | | | |
|-------|----------|---|---|
| | | | 结果分别送至 CMP_SR[CMP0OUT]、CMP_SR[CMP1OUT]、CMP_SR[CMP2OUT] |
| | | 01 | CMP0 工作, CMP1/2 闲置, 正输入端接 C0P, 负输入端接 C0M, 输出接 CMP_SR[CMP0OUT] |
| | | 10 | CMP1 工作, CMP0/2 闲置, 正输入端接 C1P, 负输入端接 C1M, 输出接 CMP_SR[CMP1OUT] |
| | | 11 | CMP2 工作, CMP0/1 闲置, 正输入端接 C2P, 负输入端接 C2M, 输出接 CMP_SR[CMP2OUT] |
| | | 11 | 00 保留 |
| | | | 01 CMP0 工作, 参考图 31-20, 即正输入端接 C0P, 负输入端接 C0M, 输出接 CMP_SR[CMP0OUT] |
| | | | 10 保留 |
| | | | 11 保留 |
| [2:1] | CMP0CSEL | CMP0/1/2 轮询速度选择
00: 正常轮询
01: 快速轮询
10: 偏低轮询
11: 低速轮询 | |
| [0] | CMP0EN | CMP0/1/2 使能
0: 不使能
1: 使能 | |

31.2.4 CMP_CR3 (CSR:0x603)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|---|---|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP9FSEL | | CMP3FSEL | | CMP6FSEL | | CMP0FSEL | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|----------|-----------------------------------|
| [31:10] | RSV | 保留 |
| [9:8] | CMP9FSEL | CMP9 滤波设置
00: 不滤波
01: 4 个周期 |

| | | |
|-------|----------|--|
| | | 10: 8 个周期
11: 16 个周期 |
| [7:6] | CMP3FSEL | CMP3 滤波设置
00: 不滤波
01: 4 个周期
10: 8 个周期
11: 16 个周期 |
| [5:3] | CMP6FSEL | CMP6/7/8 滤波设置
000: 4 个周期
001: 8 个周期
010: 16 个周期
011: 24 个周期
100: 32 个周期
101: 64 个周期
110: 96 个周期
111: 128 个周期 |
| [2:0] | CMP0FSEL | CMP0/1/2 滤波设置
000: 4 个周期
001: 8 个周期
010: 16 个周期
011: 24 个周期
100: 32 个周期
101: 64 个周期
110: 96 个周期
111: 128 个周期 |

31.2.5 CMP_SR (CSR:0x604)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP11OUT | CMP10OUT | CMP9OUT | CMP8OUT | CMP7OUT | CMP6OUT | RSV | CMP4OUT | CMP3OUT | CMP2OUT | CMP1OUT | CMP0OUT |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | r | r | r | r | r | - | r | r | r | r | r | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-----|----|
| [31:12] | RSV | 保留 |

| | | |
|------|----------|------------|
| [11] | CMP11OUT | CMP11 比较结果 |
| [10] | CMP10OUT | CMP10 比较结果 |
| [9] | CMP9OUT | CMP9 比较结果 |
| [8] | CMP8OUT | CMP8 比较结果 |
| [7] | CMP7OUT | CMP7 比较结果 |
| [6] | CMP6OUT | CMP6 比较结果 |
| [5] | RSV | 保留 |
| [4] | CMP4OUT | CMP4 比较结果 |
| [3] | CMP3OUT | CMP3 比较结果 |
| [2] | CMP2OUT | CMP2 比较结果 |
| [1] | CMP1OUT | CMP1 比较结果 |
| [0] | CMP0OUT | CMP0 比较结果 |

31.2.6 CMP_IFR (CSR:0x605)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP11IF | CMP10IF | CMP9IF | CMP8IF | CMP7IF | CMP6IF | RSV | CMP4IF | CMP3IF | CMP2IF | CMP1IF | CMP0IF | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r0 | r0 | r0 | r0 | r0 | r0 | - | r0 | r0 | r0 | r0 | r0 | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:12] | RSV | 保留 |
| [11] | CMP11IF | CMP11 中断事件标志位
读:
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0
1: 无意义 |
| [10] | CMP10IF | CMP10 中断事件标志位
读:
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件
写:
0: 清 0 |

| | | |
|-----|--------|--|
| | | 1: 无意义 |
| [9] | CMP9IF | <p>CMP9 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [8] | CMP8IF | <p>CMP8 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [7] | CMP7IF | <p>CMP7 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [6] | CMP6IF | <p>CMP6 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [5] | RSV | 保留 |
| [4] | CMP4IF | <p>CMP4 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |

| | | |
|-----|--------|--|
| [3] | CMP3IF | <p>CMP3 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [2] | CMP2IF | <p>CMP2 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [1] | CMP1IF | <p>CMP1 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |
| [0] | CMP0IF | <p>CMP0 中断事件标志位</p> <p>读:</p> <p>0: 未发生中断事件</p> <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> |

31.2.7 CMP_SAMR (CSR:0x606)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|-------|----|----|----|--------|----|----|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CSOND | | | | CSOFFD | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|--|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:4] | CSOND | <p>CMPG1 和 CMPG2 延迟开启采样时间</p> <p>在 PWM 从 OFF 到 ON 或 ON 到 OFF 状态时，功率器件的导通和关闭会干扰比较器输入信号，设置 CMP_SAMR[CSOND]延迟使 CMPG1 和 CMPG2 延迟开启采样，从而避开干扰。</p> <p>延迟开启采样时间 = 32*CMP_SAMR[CSOND]*T</p> <p> 备注：
CMP_SAMR[CSOND]必须大于或等于 CMP_SAMR[CSOFFD]</p> |
| [3:0] | CSOFFD | <p>CMPG1 和 CMPG2 提前关闭采样时间</p> <p>设置 CMP_SAMR[CSOND]后，超出 PWM 波形后沿设定的 CMP_SAMR[CSOND] - CMP_SAMR[CSOFFD]结束采样，使采样区间被 PWM 区间包络。</p> <p>关闭采样时间 = 32*CMP_SAMR[CSOFFD]*T</p> <p> 备注：
CMP_SAMR[CSOND]必须大于或等于 CMP_SAMR[CSOFFD]</p> |

31.2.8 CMP_DBR (CSR:0x607)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | DBGSEL2 | | | | DBGSEL1 | | | | RSV | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | ≡ | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:15] | RSV | 保留 |
| [14:10] | DBGSEL2 | <p>输出 Debug 信号选择，输出到 PB0 端口</p> <p>00000: 不使能 Debug 信号输出</p> <p>00001: ADC1 触发信号</p> <p>00010: ADC2 触发信号</p> <p>00011: ADC3 触发信号</p> <p>00100: CMP0/1/2 PWM ON 采样信号输出</p> <p>00101: CMP0/1/2 PWM OFF 采样信号输出</p> <p>00110: CMP6/7/8 PWM ON 采样信号输出</p> <p>00111: CMP6/7/8 PWM OFF 采样信号输出</p> |

| | | |
|-------|---------|---|
| | | <p>01000: CMP0/1/2 PWM ON/OFF 采样信号输出</p> <p>01001: CMP0/7/8 PWM ON/OFF 采样信号输出</p> <p>01010: 保留</p> <p>01011: 保留</p> <p>01100: FOC 计算中</p> <p>01101: FOC 电流环计算中</p> <p>01110: 从电机 FOC 计算中</p> <p>01111: 保留</p> <p>10000: 主电机 DRVx_CNTR 方向</p> <p>10001: 主电机 DRVx_CNTR 上溢点</p> <p>10010: 主电机 DRVx_CNTR 下溢点</p> <p>10011: 主电机 OMEGA 启动中</p> <p>10100: 主电机高频注入状态</p> <p>10101: 主电机外环计算中</p> <p>10110: 保留</p> <p>10111: 保留</p> <p>11000: 从电机 DRVx_CNTR 方向</p> <p>11001: 从电机 DRVx_CNTR 上溢点</p> <p>11010: 从电机 DRVx_CNTR 下溢点</p> <p>11011: 从电机 OMEGA 启动中</p> <p>11100: 从电机高频注入状态</p> <p>11101: 从电机外环计算中</p> <p>11110: 保留</p> <p>11111: 保留</p> |
| [9:5] | DBGSEL1 | <p>输出 Debug 信号选择, 输出到 PA1 端口</p> <p>00000: 不使能 Debug 信号输出</p> <p>00001: ADC1 触发信号</p> <p>00010: ADC2 触发信号</p> <p>00011: ADC3 触发信号</p> <p>00100: CMP0/1/2 PWM ON 采样信号输出</p> <p>00101: CMP0/1/2 PWM OFF 采样信号输出</p> <p>00110: CMP6/7/8 PWM ON 采样信号输出</p> <p>00111: CMP6/7/8 PWM OFF 采样信号输出</p> <p>01000: CMP0/1/2 PWM ON/OFF 采样信号输出</p> <p>01001: CMP0/7/8 PWM ON/OFF 采样信号输出</p> <p>01010: 保留</p> <p>01011: 保留</p> <p>01100: FOC 计算中</p> |

| | | |
|-------|-----|--|
| | | 01101: FOC 电流环计算中
01110: 从电机 FOC 计算中
01111: 保留
10000: 主电机 DRVx_CNTR 方向
10001: 主电机 DRVx_CNTR 上溢点
10010: 主电机 DRVx_CNTR 下溢点
10011: 主电机 OMEGA 启动中
10100: 主电机高频注入状态
10101: 主电机外环计算中
10110: 保留
10111: 保留
11000: 从电机 DRVx_CNTR 方向
11001: 从电机 DRVx_CNTR 上溢点
11010: 从电机 DRVx_CNTR 下溢点
11011: 从电机 OMEGA 启动中
11100: 从电机高频注入状态
11101: 从电机外环计算中
11110: 保留
11111: 保留 |
| [4:0] | RSV | 保留 |

31.2.9 CMP_CR4 (CSR:0x608)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|---------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|---|---|--|--|--|--|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP11IM | | CMP10IM | | CMP9IM | | CMP8IM | | CMP7IM | | CMP6IM | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------|--|
| [31:12] | RSV | 保留 |
| [11:10] | CMP11IM | CMP11 中断模式
00: 不产生中断
01: 上升沿产生中断
10: 下降沿产生中断
11: 上升/下降沿均产生中断 |
| [9:8] | CMP10IM | CMP10 中断模式 |

| | | |
|-------|--------|--|
| | | <p>00: 不产生中断
 01: 上升沿产生中断
 10: 下降沿产生中断
 11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [7:6] | CMP9IM | <p>CMP9 中断模式
 00: 不产生中断
 01: 上升沿产生中断；DRV2_CR[MOEMD]配置为非 0 状态时，DRV2_CR[MOE]清 0^[1]
 10: 下降沿产生中断；DRV2_CR[MOEMD]配置为非 0 状态时，DRV2_CR[MOE]清 0
 11: 上升沿使 DRV2_CR[MOE]清 0，中断事件标志位 CMP_SR[CMP9IF]置 1，但不产生中断^[2]</p> <p> 备注:</p> <p>[1] MOE配置详情参考17.16.2.3
 [2] CMP9用于逐波限流功能，需配置DRV2_CR[MOEMD] = 10/11。</p> |
| [5:4] | CMP8IM | <p>CMP8 中断模式
 00: 不产生中断
 01: 上升沿产生中断
 10: 下降沿产生中断
 11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [3:2] | CMP7IM | <p>CMP7 中断模式
 00: 不产生中断
 01: 上升沿产生中断
 10: 下降沿产生中断
 11: 上升/下降沿均产生中断</p> |
| [1:0] | CMP6IM | <p>CMP6 中断模式
 00: 不产生中断
 01: 上升沿产生中断
 10: 下降沿产生中断
 11: 上升/下降沿均产生中断</p> |

31.2.10 CMP_CR5 (CSR:0x609)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|---------|--------|---------|-----|---------|---|----|----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP10EN | CMP9MOD | CMP9EN | CMP9HYS | RSV | CMP6HYS | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | RW | RW | RW | RW | RW | - | RW | RW |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | CMP10EN | CMP10 使能端
0: 不使能
1: 使能 |
| [6:5] | CMP9MOD | CMP9 的模式选择
负输入端接 A4O 或 DAC3 输出
00: 单正输入端模式, A4O 接正输入端, 参考图 31-8
01: 双比较器模式, PC11、PC14 接正输入端, 参考图 31-9
1x: 三比较器模式, A4O、PC11 和 PC14 接正输入端, 参考图 31-10 |
| [4] | CMP9EN | CMP9 使能端
0: 不使能
1: 使能 |
| [3] | CMP9HYS | CMP9 的迟滞配置
0: 无迟滞
1: 有迟滞 |
| [2] | RSV | 保留 |
| [1:0] | CMP6HYS | CMP6/7/8 的迟滞配置
00: 无迟滞
01: ±3mV
10: ±6mV
11: ±12mV |

31.2.11 CMP_CR6 (CSR:0x60A)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|----|-----|----|---------|--------|---------|---------|----|----------|---|--------|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CMP6SAM1SEL | | RSV | | HALL1EN | CMP6FS | CMP6MOD | CMP6SEL | | CMP6CSEL | | CMP6EN |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | - | rw | rw | rw | rw | rw | rw | - | - | rw |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|-------------|--|
| [31:12] | RSV | 保留 |
| [11:10] | CMP6SAM1SEL | CMP6、CMP7、CMP8 在 PWM ON/OFF 采样延迟使能
00: 在 ON 和 OFF 均采样，无延迟采样
01: 只在 OFF 采样，根据 CMP_SAMR 延迟采样
10: 只在 ON 采样，根据 CMP_SAMR 延迟采样
11: 在 ON 和 OFF 均采样，根据 CMP_SAMR 延迟采样 |
| [9] | RSV | 保留 |
| [8] | HALL1EN | Hall1 使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [7] | CMP6FS | CMP7、CMP8 功能转移模式使能
0: 不使能
1: 使能，仅当 CMP6MOD = 01 时有效，其余情况忽略此位 |
| [6:5] | CMP6MOD | CMP6 的模式设置
00: 无内置虚拟中心点电阻的 BEMF 模式，参考图 31-21
01: 内置虚拟中心点电阻的 BEMF 模式，参考图 31-22 和图 31-23
10: 差分三比较器模式，参考图 31-24
11: 双比较器模式，参考图 31-25 |
| [4:3] | CMP6SEL | CMP6 的端口组合选择，与 CMP_CR6[CMP0MOD]组合使用。
表 31-2 CMP6 端口与 CMP_CR6[CMP0MOD]组合的功能描述 |

| CMP6MOD | CMP6SEL | 功能描述 |
|---------|---------|---|
| 00 | 00 | CMP6/7/8 同时工作，参考图 31-21，三路比较器的负端均接 C6M，硬件将正输入端 C6P、C7P、C8P 分别与公共负输入端 C6M 比较，其输出结果分别送至 CMP_SR[CMP6OUT]、CMP_SR[CMP7OUT]、CMP_SR[CMP8OUT] |

| | | |
|----|----|---|
| | 01 | CMP6 工作, CMP7/8 闲置, 正输入端接 C6P, 负输入端接 C6M, 输出接 CMP_SR[CMP6OUT] |
| | 10 | CMP7 工作, CMP6/8 闲置, 正输入端接 C7P, 负输入端接 C6M, 输出接 CMP_SR[CMP7OUT] |
| | 11 | CMP8 工作, CMP6/7 闲置, 正输入端接 C8P, 负输入端接 C6M, 输出接 CMP_SR[CMP8OUT] |
| 01 | 00 | CMP6/7/8 同时工作, 参考图 31-22 和图 31-23, 三路比较器的负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点。当 CMP_CR6[CMP6FS]=0 时, 硬件自动将正输入端 C6P、C7P、C8P 分别与公共负输入端 C6M 比较; 当 CMP_CR6[CMP6FS] = 1 时, 硬件自动将正输入端 C6P、C7PS、C8PS 分别与公共负输入端 C6M 比较, 输出结果分别送至 CMP_SR[CMP6OUT]、CMP_SR[CMP7OUT]、CMP_SR[CMP8OUT] |
| | 01 | CMP6 工作, CMP7/8 闲置, 正输入端接 C6P, 负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMP_SR[CMP6OUT] |
| | 10 | CMP7 工作, CMP6/8 闲置
CMP_CR6[CMP6FS] = 0, 正输入端接 C7P,
CMP_CR6[CMP6FS] = 1, 正输入端接 C7PS
负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMP_SR[CMP7OUT] |
| | 11 | CMP8 工作, CMP6/7 闲置
CMP_CR6[CMP6FS] = 0, 正输入端接 C8P,
CMP_CR6[CMP6FS] = 1, 正输入端接 C8PS
负输入端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMP_SR[CMP8OUT] |
| 10 | 00 | CMP6/7/8 同时工作, 参考图 31-24, 三路比较器的正输入端分别接 C6P、C7P、C8P, 与之对应的负输入端分别接 C6M、C7M、C8M, 其输出结果分别送至 CMP_SR[CMP6OUT]、CMP_SR[CMP7OUT]、CMP_SR[CMP8OUT] |
| | 01 | CMP6 工作, CMP7/8 闲置, 正输入端接 C6P, 负输入端接 C6M, 输出接 CMP_SR[CMP6OUT] |
| | 10 | CMP7 工作, CMP6/8 闲置, 正输入端接 C7P, 负输入端接 C7M, 输出接 CMP_SR[CMP7OUT] |

| | | | | |
|-------|----------|---|----|--|
| | | | 11 | CMP8 工作，CMP6/7 闲置，正输入端接 C8P，负输入端接 C8M，输出接 CMP_SR[CMP8OUT] |
| | | 11 | 00 | CMP6/7 同时工作，参考图 31-25，两路比较器的正输入端分别接 C6P、C7PS，负输入端接 C6M，其输出结果分别送至 CMP_SR[CMP6OUT]、CMP_SR[CMP7OUT] |
| | | | 01 | CMP6 工作，CMP7 闲置，即正输入端接 C6P，负输入端接 C6M，输出接 CMP_SR[CMP6OUT] |
| | | | 10 | CMP7 工作，CMP6 闲置，即正输入端接 C7P，负输入端接 C7M，输出接 CMP_SR[CMP7OUT] |
| | | | 11 | 保留 |
| [2:1] | CMP6CSEL | CMP6/7/8 轮询速度选择
00: 正常轮询
01: 快速轮询
10: 偏低轮询
11: 低速轮询 | | |
| [0] | CMP6EN | CMP6/7/8 使能
0: 不使能
1: 使能 | | |

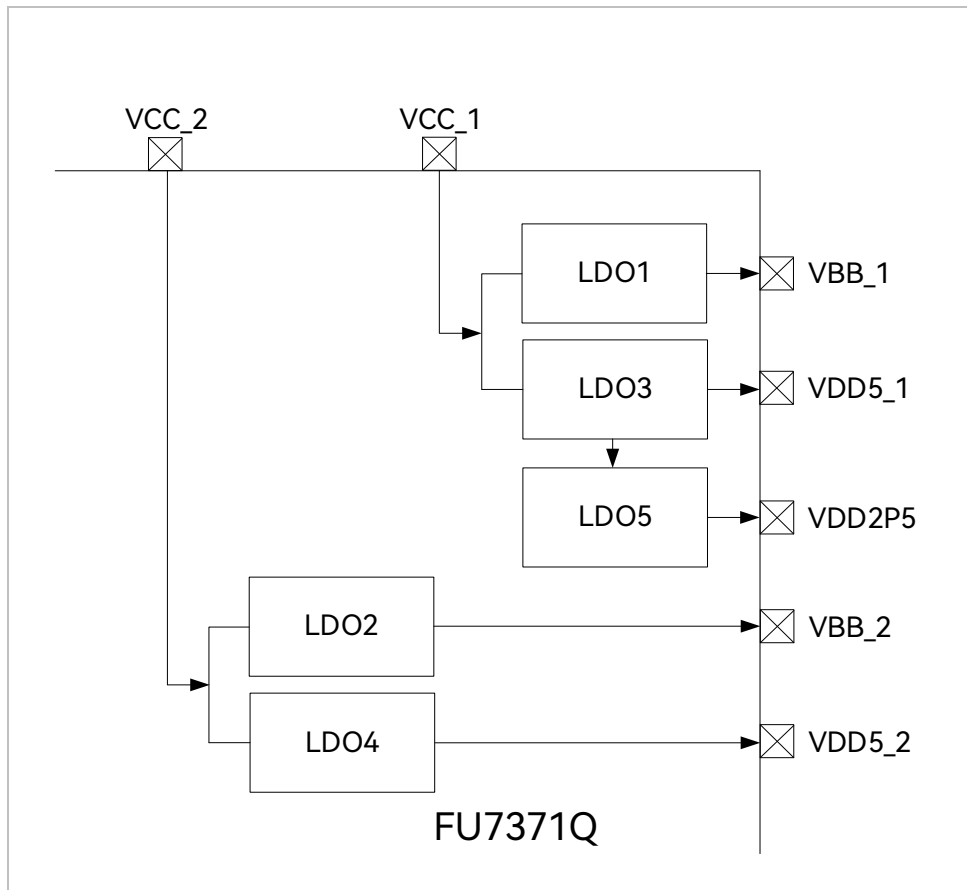
32 电源模块

32.1 LDO

FU7371Q 内部含有 5 个 LDO 输出模块：LDO1 ~ LDO5。

32.1.1 FU7371Q LDO 模块简介

图 32-1 FU7371Q LDO 模块功能框图



FU7371Q LDO 模块的输入输出端口如图 32-1 所示。LDO1 ~ LDO4 将输入电源电压分别降压至 12V (VBB_1、VBB_2)给芯片内部 Pre-driver 供电和 5V (VDD5_1、VDD5_2)给芯片内部模拟供电；LDO5 将 LDO3 输入电源电压进一步降压至 2.5V (VDD2P5)给芯片内部数字供电。

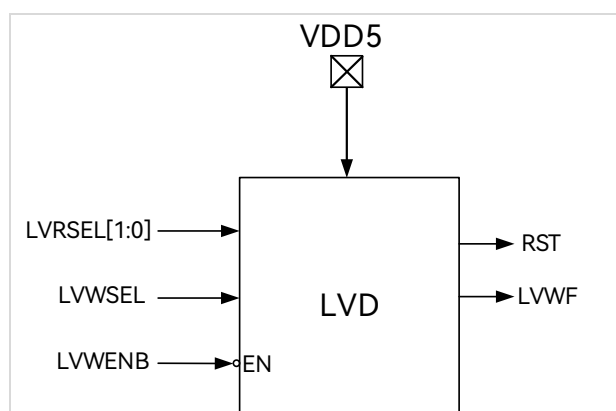
32.2 低压检测

32.2.1 低压检测简介

芯片低压检测包括两个部分: 低电压预警和低电压复位。

32.2.2 低压检测操作说明


图 32-2 低电压检测模块



低压检测模块操作说明如下:

- > 低电压预警和低电压复位默认一直使能
- > 低电压预警电压可设置为4.2/4.5V两个档位，可使能中断。使能中断后当VDD5电压低于预警电压设定值时，触发中断。
- > 低电压复位电压可设置为3.0/3.5/3.8V三个档位。当VDD5电压低于复位电压设定值后，芯片复位低电压预警电压、中断配置以及低电压复位电压通过编译器中配置选项完成，如图 32-3所示。

其中，LVR Setting 设置低电压复位电压，Enable LVW Interrupt 设置低电压中断使能，LVW Setting 设置低电压预警电压。

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>1: 发生中断事件</p> <p>写:</p> <p>0: 清 0</p> <p>1: 无意义</p> <p> 备注:</p> <p>当低电压检测中断不使能, 该位不会硬件置 1</p> |
|--|--|---|

33 Flash

33.1 Flash 简介

芯片片内 Flash 总共提供 64kB 数据空间和 8kB ECC 空间。支持扇区/页/全片擦除、扇区/页/全片预编程、字节编程等操作。Flash 在被编程时，CPU 会暂停取指，直到 Flash 编程结束。

主要特性:

- > 每个单元(Cell)有8B数据空间和1B ECC空间，共计8k个单元
- > 每个扇区(Sector)为32个单元即256B，共计256个扇区
- > 每页(Page)包含16个扇区即4kB，共计16页
- > 最后一个扇区(地址范围: 0xFF00 ~ 0xFFFF)任何时刻不能被擦除
- > 扇区/页/全片擦除时间约120ms ~ 210ms
- > 使用store指令完成Flash的操作
- > 提供ECC对数据进行检查，可进行1位纠错
- > 可以进行的Flash编程操作：
 - >> 最多8字节数据编程操作，ECC字节可选自动触发计算或者手动触发计算
 - >> 以扇区为单位的擦除
 - >> 以扇区为单位的Flash维护模式
 - >> 以页为单位的擦除
 - >> 以页为单位的Flash维护模式
 - >> 以全片为单位的擦除
 - >> 以全片为单位的Flash维护模式

33.2 Flash 操作说明

Flash 操作需要按以下步骤进行:

1. 解除编程限制: Flash开锁寄存器FLA_KEY依次写入0x5A, 0x1F后开启软件编程Flash功能。若顺序不对或写其它值将使此功能冻结，直到下一次复位。开锁后，任何一次写FLA_CR的动作都会使FLA_KEY

再次上锁。

2. 编程前准备：停止WDT工作，防止误触发WDT复位；
3. 配置编程模式：配置FLA_CR[FLAEN] = 1 编程使能后，设置相关配置位选择flash操作，具体功能和对应的配置位见表 33-1。

表 33-1 Flash 基本操作配置

| FLA_CR 配置位 | Flash 基本操作 |
|---------------------------------------|---|
| FLAEN | 8 字节数据+ECC 字节编程，根据即将编程的 8 字节数据计算 ECC，并编程到 ECC 字节中 |
| FLAEN FLASIZE FLAECC | ECC 字节编程，根据 Flash 中已有的数据计算 ECC，并编程到 ECC 字节中 |
| FLAEN FLASIZE | 单字节数据编程 |
| FLAEN FLAERS | 扇区擦除 |
| FLAEN FLAPRE | 扇区预编程 |
| FLAEN FLAPRE FLAMARGIN1 | 扇区维护模式 |
| FLAEN FLAERS FLAPAGE | 页擦除 |
| FLAEN FLAPRE FLAPAGE | 页预编程 |
| FLAEN FLAPRE FLAPAGE FLAMARGIN1 | 页检查模式 |
| FLAEN FLAERS FLACHIP | 全片擦除 |
| FLAEN FLAPRE FLACHIP | 全片预编程 |
| FLAEN FLAPRE FLACHIP FLAMARGIN1 | 全片维护模式 |
| FLAEN FLAECCMANUAL | 8 字节数据编程 |
| FLAEN FLAECC FLAECCMANUAL | ECC 字节编程，手动 ECC |



备注：

- 程序执行过程中如果对Flash进行改写操作，CRC也会随之改变。
- ECC可通过0x01000000的地址段访问，即0x01000000+目标cell地址就是ECC地址。在cfg_unlock模式下可直接使用单字节编程手动修改ECC字节（确保低三位为0）

33.3 ECC 校验

33.3.1 ECC 校验简介

ECC 校验模块针对 Flash 数据进行保护，本模块每 64 位数据产生 8 位 ECC 校验值，能对 1 位错误进行纠错，识别 ECC 奇数个位错误和 ECC 偶数个位错误并提供相应的错误中断源。

本模块提供了 ECC 错误累计计数功能可以对 ECC 错误进行累计。当累计次数达到设定阈值后，产生 ECC 多次错误中断源。

33.4 Flash 寄存器

33.4.1 FLA_CR (CSR:0x4E1)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|----|----------|-----|----|---|------------|-----|--------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | FLAERR | RSV | | FLAM0ERR | RSV | | | FLAMARGIN1 | RSV | FLAECC | FLASIZE | FLACHIP | FLAPAGE | FLAPRE | FLAERS | FLAEN | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | - | - | r | - | - | - | - | - | r | - | r | r | r | r | r | r | r |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|------------|---|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15] | FLAERR | Flash 编程/预编程错误标志位
0: 未发生操作错误事件
1: 发生操作错误事件 |
| [14:13] | RSV | 保留 |
| [12] | FLAM0ERR | Flash Margin0 错误标志位
0: 未发生 Margin0 错误事件
1: 发生 Margin0 错误事件 |
| [11:9] | RSV | 保留 |
| [8] | FLAMARGIN1 | Flash Margin1 测试模式使能
0: 不使能 Margin1 测试模式
1: 使能 Margin1 测试模式 |
| [7] | RSV | 保留 |
| [6] | FLAECC | Flash ECC 字节编程使能 |

| | | |
|-----|---------|---|
| | | <p>0: 不使能
1: 使能</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAECC]才生效</p> |
| [5] | FLASIZE | <p>Flash 编程数据字节大小</p> <p>0: 8B
1: 1B</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLASIZE]才生效</p> |
| [4] | FLACHIP | <p>Flash 全片操作使能</p> <p>0: 不使能
1: 使能</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLACHIP]才生效</p> |
| [3] | FLAPAGE | <p>Flash 页操作使能</p> <p>0: 不使能
1: 使能</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAPAGE]才生效</p> |
| [2] | FLAPRE | <p>Flash 预编程使能</p> <p>0: 不使能
1: 使能</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAPRE]才生效</p> |
| [1] | FLAERS | <p>Flash 擦除使能</p> <p>0: 不使能
1: 使能</p> <p> 备注:
只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAERS]才生效</p> |
| [0] | FLAEN | <p>Flash 编程使能</p> <p>0: 不使能</p> |

| | | |
|-------|--------------|--|
| [7] | ECC_LERR_CEN | 从 Flash 中取数据时发生单位 ECC 错误计数使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [6] | ECC_MERR_IE | ECC 累计错误中断使能。当该中断使能时 ECC_ERR_CNTR 才会进行 ECC 错误计数；当该中断不使能时，ECC_ERR_CNTR 将一直为 0。
0: 不使能
1: 使能 |
| [5:4] | RSV | 保留 |
| [3] | ECC_CMERR_IE | 从 Flash 中取指令时发生多位 ECC 错误中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [2] | ECC_CERR_IE | 从 Flash 中取指令时发生单位 ECC 错误中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [1] | ECC_LMERR_IE | 从 Flash 中取数据时发生多位 ECC 错误中断使能
0: 不使能
1: 使能 |
| [0] | ECC_LERR_IE | 从 Flash 中取数据时发生单位 ECC 错误中断使能
0: 不使能
1: 使能 |

33.4.4 FLA_ECC_SR (CSR:0x4F1)

| 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|-----|---|--------------|-------------|--------------|-------------|---|---|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|---|
| ECC_CNTR_MASK | | | | | RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | ECC_MERR_IF | RSV | | ECC_CMERR_IF | ECC_CERR_IF | ECC_LMERR_IF | ECC_LERR_IF | | | | | | | | | | |
| r | r | r | r | r | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw0 | - | - | rw0 | rw0 | rw0 | rw0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

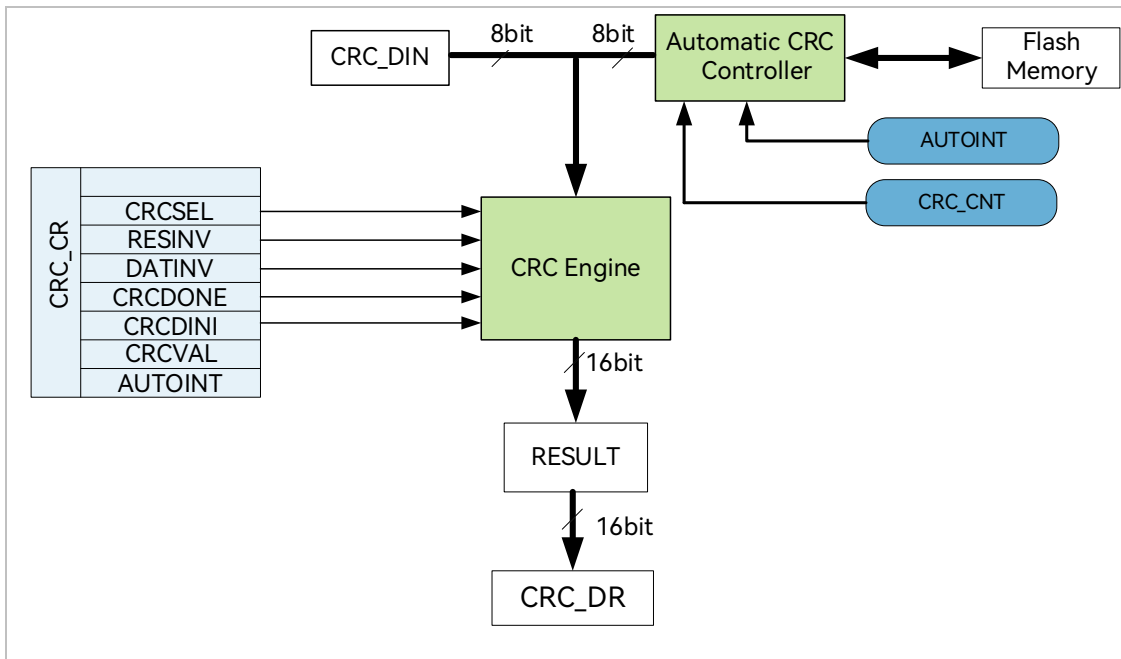
| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|---------------|--------------|
| [31:27] | ECC_CNTR_MASK | ECC 错误累计次数掩码 |
| [26:7] | RSV | 保留 |

| | | |
|-------|--------------|---|
| [6] | ECC_MERR_IF | ECC 累计错误中断使能标志位，当该中断使能时 ECC_ERR_CNTR 才会进行 ECC 错误计数；当该中断不使能时，ECC_ERR_CNTR 将一直为 0。
0: 不使能
1: 使能 |
| [5:4] | RSV | 保留 |
| [3] | ECC_CMERR_IF | 从 Flash 中取指令时发生多位 ECC 错误中断标志位
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件 |
| [2] | ECC_CERR_IF | 从 Flash 中取指令时发生单位 ECC 错误中断使能标志位
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件 |
| [1] | ECC_LMERR_IF | 从 Flash 中取数据时发生多位 ECC 错误中断使能标志位
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件 |
| [0] | ECC_LERR_IF | 从 Flash 中取数据时发生单位 ECC 错误中断使能标志位
0: 未发生中断事件
1: 发生中断事件 |

34 CRC

34.1 CRC 功能框图

图 34-1 CRC 功能框图



CRC 根据固定的生成多项式得到任一 8 位数据的 CRC 计算结果。如图 34-1 所示，CRC 接收 CRC_DIN 寄存器的 8 位数据，计算完成后将 16 位结果发送至内部寄存器，通过 CRC_DR 间接访问内部结果寄存器。

34.2 CRC16 多项式

芯片支持两种 CRC 计算多项式：基于 CRC16-CCITT-FALSE 标准的多项式和基于 CRC16 标准的多项式： $x^{16}+x^{15}+x^2+1$ 。

表 34-1 CRC 标准与多项式

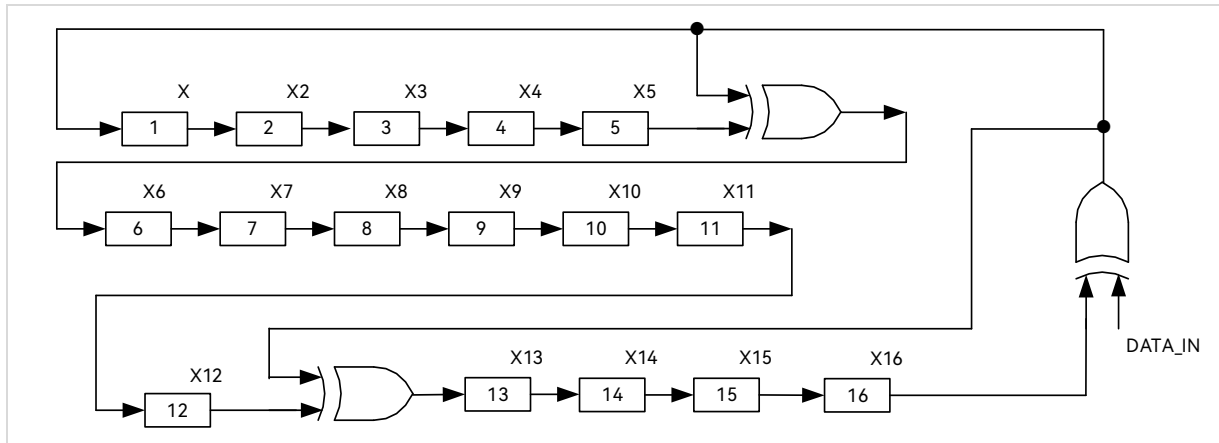
| CRC 标准 | 生成多项式 | 16 进制表示 |
|-------------------|-----------------------------|---------|
| CRC16-CCITT-FALSE | $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ | 0x1021 |
| CRC16 | $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ | 0x8005 |

34.3 CRC16 基本逻辑图

串行 CRC16 的电路原理如图 34-2 所示。芯片采用并行算法实现，对每个输入字节，MCU 用 1 个系统时

钟即可计算出结果。

图 34-2 CRC16 电路原理图



34.4 CRC 操作说明

34.4.1 计算单个字节的 CRC

计算单个字节的 CRC 值，按以下步骤进行：

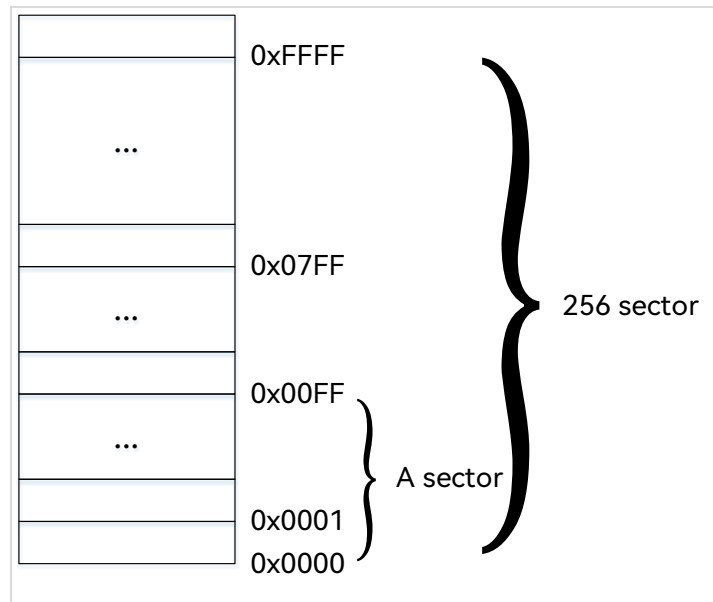
1. 初始化 CRC_DR，有两种方式可以选择：配置 CRC_CR[CRCVAL]并将 CRC_CR[CRCDINI]置 1，初始值为 0x0000 或 0xFFFF。
2. 向输入数据寄存器 CRC_DIN 写入数据，下个时钟周期 CRC 计算完成；
3. 读取 CRC 结果：软件读取结果输出寄存器 CRC_DR。

34.4.2 批量计算 ROM 数据 CRC

计算 ROM 中某片连续区域数据的 CRC 值按以下步骤进行：

1. 初始化 CRC_DR，方法同单字节 CRC；
2. 配置 CRC_BEG，设置要计算的 ROM 的起始扇区；
3. 配置 CRC_CNT，设置起始扇区到结束扇区的扇区偏移量；
4. 向 CRC_CR[AUTOINT]写 1，保持其它位不变，会启动自动计算过程；
5. 等待 CRC_CR[CRCDONE] = 1，读取 CRC 结果。

图 34-3 ROM 访问分区图



6. 如图 34-3所示，ROM共有64k字节，分成256个sector，编号从sector0到sector255。每个sector包含256个字节。在进行CRC批量计算时，起始sector的值CRC_BEG可以是0 ~ 255之间的任何值，包括0和255。需要计算的sector总数的数值CRC_CNT可以是0 ~ 255，包括0和255。

需要注意的是，随着 CRC_BEG 的增大，CRC_CNT 应该相应减小，需满足 $CRC_BEG + CRC_CNT \leq 255$ 。

34.4.3 DMA 计算 CRC


通过 DMA 计算指定地址连续数据的 CRC 值按以下步骤进行：

1. 初始化CRC_DR，方法同单字节CRC；
2. 配置DMAx_CR，配置成CRC模式，并使能DMA；
3. 配置DMAx_BA，设置起始数据基地址；
4. 配置DMAx_LEN，设置数据长度；
5. 向DMAx_CR[DMABSY]写1，会启动自动计算过程；
6. 等待DMAx_CR[DMABSY] = 0，读取CRC结果。

34.5 CRC 寄存器

34.5.1 CRC_DIN (CSR:0x1D8)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CRCD_IN | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r0w | r0w | r0w | r0w | r0w | r0w | r0w | r0w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | CRC_DIN | <p>CRC 模块输入数据</p> <p>每次向此寄存器写入一个数据时，CRC 模块自动在现有 CRC 结果的基础上，根据输入数据计算出新的 CRC 结果，并覆盖原 CRC 结果。</p> <p> 备注:</p> <p>此寄存器是一个虚拟寄存器，写入的数据并不保存。读取此地址时返回 0x00</p> |

34.5.2 CRC_CR (CSR:0x1D9)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|-----|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | RESINV | DATINV | CRCSEL | CRCDONE | CRCDINI | CRCVAL | AUTOINT | RSV |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | rw | rw | rw | r1 | w1 | rw | w1 | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | - |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|--------|--|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7] | RESINV | <p>CRC 输出结果翻转</p> <p>0: 正常输出结果</p> <p>1: 输出结果取反后输出</p> |
| [6] | DATINV | CRC 数据输入翻转 |

| | | |
|-----|---------|---|
| | | 0: 数据正常输入
1: 数据取反后输入 |
| [5] | CRCSEL | CRC 多项式选择位
0: CRC 标准为 CRC16-CCITT-FALSE
1: CRC 标准为 CRC16 |
| [4] | CRCDONE | CRC 批量计算完成标志位
在 CRC 批量计算模式过程中，硬件自动将这一位写 0，并且软件代码也会停止执行；在其它情况下，硬件自动将这一位置为 1，所以，软件读取这一位始终返回 1。 |
| [3] | CRCDINI | CRC 结果初始化触发
0: 无意义
1: 触发 CRC 结果初始化 |
| [2] | CRCVAL | CRC 结果初始化选择位
0: CRC 结果初始化为 0x0000
1: CRC 结果初始化为 0xFFFF |
| [1] | AUTOINT | CRC 批量计算启动
0: 无意义
1: 启动批量 CRC 计算
参考批量计算 ROM 数据 CRC |
| [0] | RSV | 保留 |



备注:

计算单个字节 CRC 校验时，配置 CRC_CR[AUTOINT] = 0。

34.5.3 CRC_DR (CSR:0x1DA)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | CRC_DR | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|---------|--------|----------|
| [31:16] | RSV | 保留 |
| [15:0] | CRC_DR | CRC 结果输出 |

34.5.4 CRC_BEG (CSR:0x1DB)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CRC_BEG | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|---|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | CRC_BEG | 自动计算 CRC 的 ROM 起始扇区
例: 如果 CRC_BEG 的值是 1, 则自动计算 CRC 的起始地址为 1*256 = 256, 实际上是从第二个扇区的第一个字节开始。 |

34.5.5 CRC_CNT (CSR:0x1DC)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| RSV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CRC_CNT | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | r | w | r | w | r | w | r | w |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 位 | 名称 | 描述 |
|--------|---------|--|
| [31:8] | RSV | 保留 |
| [7:0] | CRC_CNT | 自动 CRC 计算的扇区偏移量
此值定义了需要计算 CRC 值的 ROM 扇区的偏移量, 通过此值可决定自动 CRC 计算的结束扇区。 |

35 休眠模式

35.1 休眠模式简介

芯片提供了三种工作模式: 正常, 待机和睡眠。通过设置寄存器 PCON[IDLE]和 PCON[STOP]的值选择不同的工作模式。

使芯片进入睡眠模式, 务必确保以下条件:

- > 配置CK_CR[DRV1CKEN] = 0且CK_CR[DRV2CKEN] = 0;
- > 配置MIE[IRQ_EN] = 0;
- > 配置PCON[STOP] = 1;
- > 增加代码: `asm volatile("WFI")`。该语句为RISC-V架构定义的专门用于休眠的指令。当处理器执行到WFI指令之后, 将会停止执行当前的指令流, 进入睡眠状态。

各种功耗模式下的模块工作情况总结如表 35-1 所示:

表 35-1 功耗模式

| 电源模式 | 描述 | 唤醒源 | 功耗性能 |
|------|---|------------------------------------|------------|
| 正常 | 除去被关掉的外设, 其他模块全速工作 | NA | 功耗较高, 性能最好 |
| 待机 | CPU 时钟被暂停, 其他功能模块关闭或工作, 由其控制位决定, 看门狗时钟被暂停。 | 任何中断
外部 Reset/Debug 复位 | 功耗低, 性能灵活 |
| 睡眠 | Flash 深度睡眠。模拟快时钟电路关闭, MCU 软件应注意在进入睡眠前, 确保 ADC、FOC、驱动电路已处于空闲。看门狗时钟被关闭。 | 外部中断, RTC 中断,
外部 Reset/Debug 复位 | 功耗很低, 性能灵活 |

36 代码保护

36.1 代码保护简介

芯片支持 Flash 全芯片加密的方式，用于保护客户的软件知识产权，免受非法的用户操作。当 Flash 被加密后，数据无法读取，只能通过硬件 CRC 校验来对比程序是否一致。

36.2 代码保护操作说明

图 36-1 代码保护配置

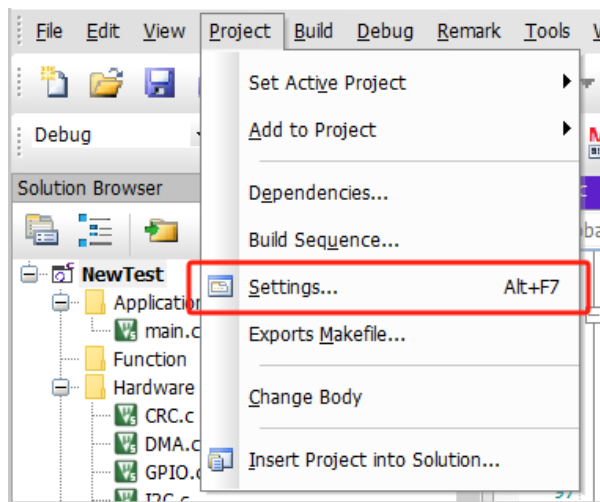
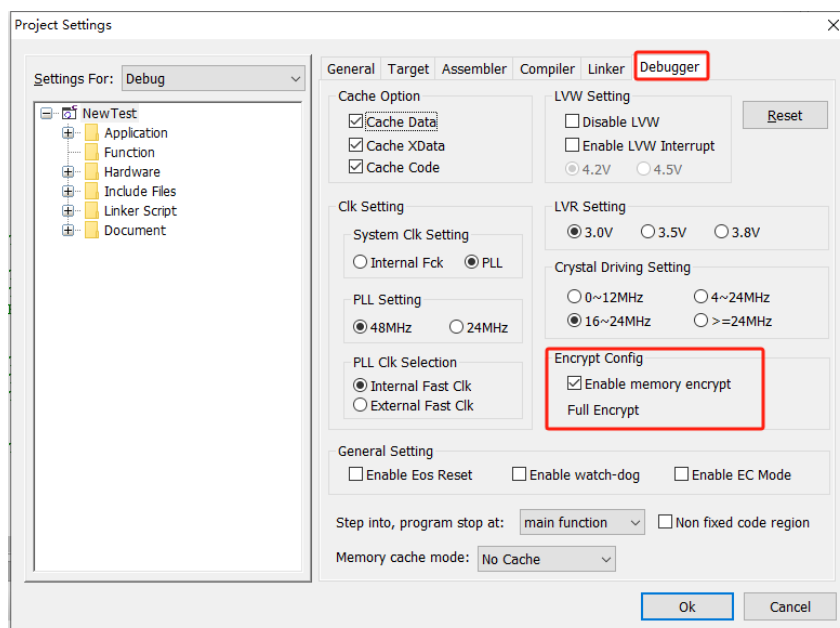


图 36-2 代码保护全保护模式



加密步骤为:

1. 打开IDE集成开发工具，按照上图 36-1所示进行选择，编译前进入Project Settings并选择Debugger选项卡，然后点击debugger进入下一步设置；
2. 按照图 36-2所示进行选择并设置，点击Ok。然后点击Rebuild编译工程并下载，得到BIN文件并烧录到Flash后即可达到代码保护的效果。

37 磁阻传感器

37.1 简介

FU7371Q 内置 AMR 磁阻技术为基础的角度传感器，磁阻元件检测旋转磁场得到两对幅值在 120mV 左右的差分正弦信号输出到芯片引脚，通过芯片 AMP5/AMP6 放大后使用。角度传感器可以提供 180° 的角度测量范围，配合 Hall 或者其他技术时可以获得 360° 绝对位置。

37.2 使用说明

图 37-1 展现了基本角度测量过程中芯片与磁铁的位置关系，当传感器表面受到 80G 或者更大的磁场施加在平行于传感器表面，例如使用径向磁化的永磁铁放置在传感器的上方，永磁体安装在电机或者其他设备的转轴末端。当磁铁随着电机旋转时，传感器感受的磁场方向随之发生改变，同时提供对应于磁场方向 θ 的输出，图 37-2 传感器引脚输出的电压波形和角度关系，由该图可以看出，电桥 A 和 B 的输出信号都是 180° 的周期。在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 和 $180^\circ \sim 360^\circ$ ，输出的波形是完全一样的。因此，结合电桥 A 和 B 的输出，我们可以在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的范围内唯一地确定角度 θ 。在具有霍尔或者其他技术的帮助下， $0^\circ \sim 360^\circ$ 的角度范围内的角度都可以被精确地确定。芯片引脚输出电压如下，其中 S 典型值 12mV/V。

电桥 A 的输出电压 $V = VDD * S * \sin(2\theta)$

电桥 B 的输出电压 $V = VDD * S * \cos(2\theta)$

图 37-1 芯片磁铁安装方式

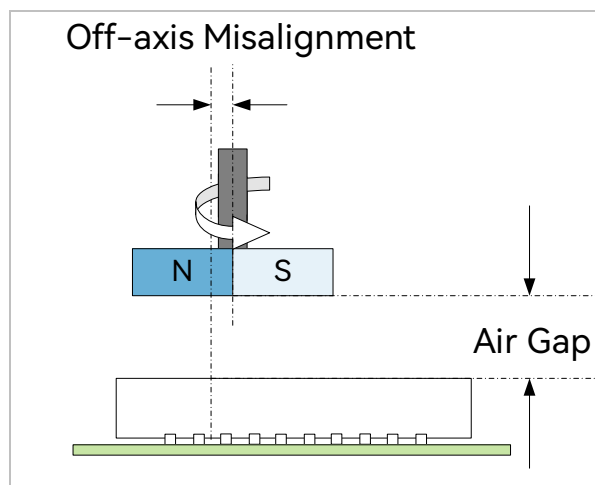
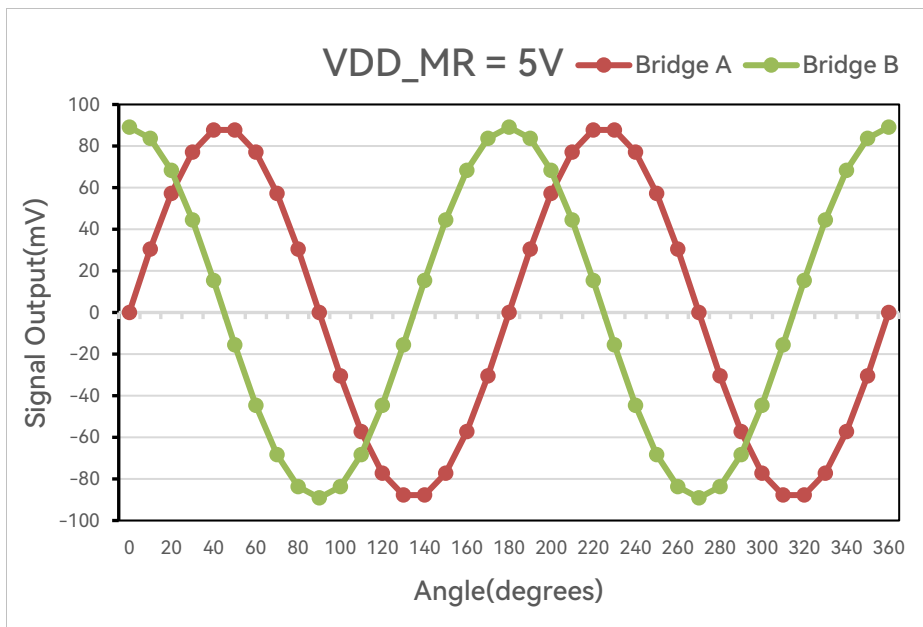


表 37-1 电气与磁性特征表

| 符号 | 参数 | Min | Typ | Max | Unit |
|--------|-------|-----|--------|-----|------|
| Dmag | 磁铁直径 | - | 6 | - | mm |
| Tmag | 磁铁厚度 | - | 2.5 | - | mm |
| Bpk | 表磁强度 | 80 | - | - | Gs |
| AG | 空气间隙 | 0.5 | 2 | - | mm |
| DISP | 径向抖动 | - | - | 0.3 | mm |
| TCmag1 | NdFeB | - | -0.12 | - | %/°C |
| TCmag2 | SmCo | - | -0.035 | - | %/°C |

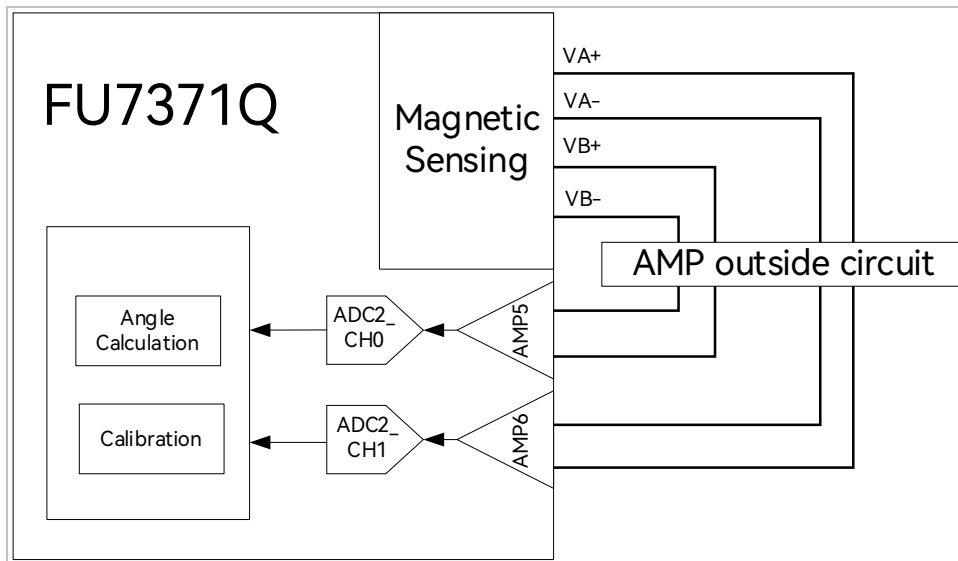
图 37-2 芯片输出角度电压波形



37.3 传感器功能框图

FU7371Q 关于磁传感器应用的简化框图如图 37-3，由两个交错惠斯通电桥产生正余弦模拟信号，经过外部配置的电阻调节运放放大倍数送给芯片运放，通过模数转换器（ADC2 通道 0/1）和硬件解码处理单元完成角度解码。

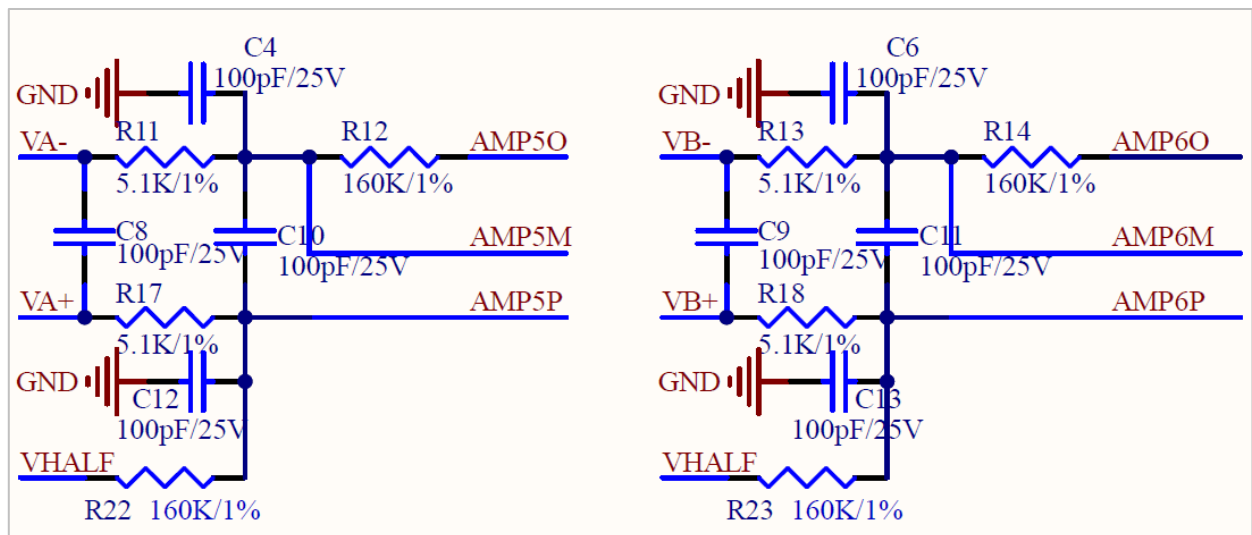
图 37-3 模块功能框图



37.4 应用电路推荐

如图 37-4，角度传感器输出的信号(VA, VB 引脚)通过芯片 AMP 运算放大器差分放大，建议放大倍数 16-40 倍，偏置电压使用芯片 VHALF 偏置电压。100pF 的电容放置在反馈回路中来降低系统带宽，同时进行进一步排除传感器和放大电路之外的噪声。

图 37-4 电路连接设计



38 修订记录

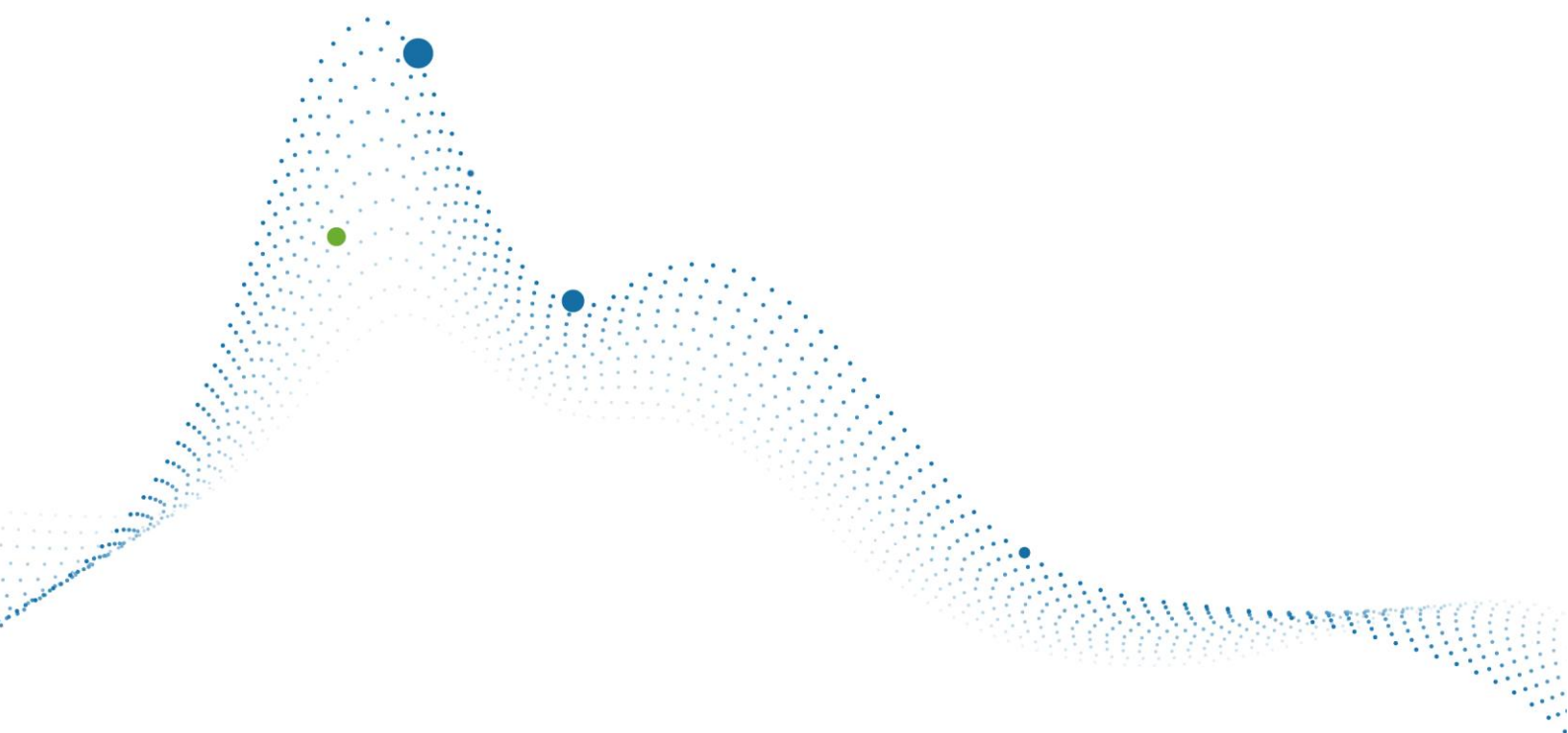
| 版本 | 主要修改内容 | 生效日期 | 修订者 |
|------|--------|------------|-----|
| V1.0 | 首次发布 | 2025/09/04 | 朱兵华 |



峰昭科技（深圳）股份有限公司

深圳市南山区科技中二路
深圳软件园二期 11 栋 2 楼 203

电话: 0755-26867710
传真: 0755-26867715
邮编: 518057
网址: www.fortiortech.com



本文件所载内容

峰昭科技（深圳）股份有限公司版权所有，保留一切权力。