

# 数据手册

## 三相电机控制 MCU FU6881Q1

峰昭科技(深圳)股份有限公司

## 目 录

符号意义说明.....	20
英文缩写及说明.....	21
<b>1 系统介绍.....</b>	<b>23</b>
1.1 特性.....	23
1.2 应用场景.....	24
1.3 概述.....	24
1.4 系统框图.....	25
1.4.1 FU6881Q1 功能框图.....	25
1.5 Memory 空间.....	26
1.5.1 Program Memory.....	26
1.5.2 Data Memory.....	26
1.5.3 SFR.....	27
1.5.4 XSFR.....	28
<b>2 引脚定义.....</b>	<b>30</b>
2.1 FU6881Q1 QFN40 引脚列表.....	30
2.2 FU6881Q1 QFN40 引脚图.....	32
<b>3 封装尺寸信息.....</b>	<b>33</b>
3.1 FU6881Q1 QFN40_5X5.....	33
<b>4 订购信息.....</b>	<b>34</b>
<b>5 电气特性.....</b>	<b>35</b>
5.1 绝对最大额定值.....	35
5.2 全局电气特性.....	35
5.3 GPIO 电气特性.....	36
5.4 ADC 电气特性.....	36
5.5 参考电压电气特性.....	37
5.6 运算放大器电气特性.....	37
5.7 OSC 电气特性.....	38
5.8 复位电气特性.....	38
5.9 LDO 电气特性.....	38
5.10 LIN 电气特性.....	38
5.11 封装热阻.....	40
<b>6 复位控制.....</b>	<b>41</b>

6.1 复位源(RST_SR) .....	41
6.2 复位使能 .....	41
6.3 外部引脚复位、上电复位.....	41
6.4 低电压保护复位.....	41
6.5 看门狗溢出复位.....	41
6.6 RSTFED 复位 .....	42
6.7 RSTDBG 复位 .....	42
6.8 软复位 .....	42
6.9 复位寄存器 .....	43
6.9.1 RST_SR (0xC9).....	43
<b>7 中断.....</b>	<b>44</b>
7.1 中断简介 .....	44
7.2 中断源使能 .....	44
7.3 外部中断 .....	44
7.4 中断说明 .....	45
7.5 中断寄存器 .....	46
7.5.1 IE (0xA8).....	46
7.5.2 IP0 (0x8A).....	46
7.5.3 IP1 (0x8B).....	47
7.5.4 IP2 (0x8C).....	47
7.5.5 IP3 (0x8D) .....	47
7.5.6 TCON (0x88).....	47
7.5.7 ETX1_IE (0xD1).....	48
7.5.8 EXT1_IF (0xD2).....	48
7.5.9 INT_SR0 (0xF2).....	49
7.5.10 INT_SR1 (0xF3).....	50
7.5.11 INT_SR2 (0xF4).....	52
7.5.12 INT_SR3 (0xF5).....	53
7.5.13 INT_SR4 (0xF6).....	54
7.5.14 INT_SR5 (0xF7).....	55
7.5.15 INT_SR6 (0xFA) .....	56
<b>8 时钟门控.....</b>	<b>58</b>
8.1 时钟门控寄存器.....	58
8.1.1 CK_CR (0x91) .....	58

<b>9 I<sup>2</sup>C</b> .....	<b>60</b>
9.1 I <sup>2</sup> C 简介.....	60
9.2 I <sup>2</sup> C 操作说明.....	61
9.2.1 主机模式.....	61
9.2.2 从机模式.....	62
9.2.3 I <sup>2</sup> C 中断源.....	62
9.3 I <sup>2</sup> C 寄存器.....	62
9.3.1 I2C_CR (0x4028) .....	62
9.3.2 I2C_ID (0x4029) .....	63
9.3.3 I2C_DR (0x402A).....	63
9.3.4 I2C_SR (0x402B).....	63
<b>10 SPI</b> .....	<b>66</b>
10.1 SPI 简介 .....	66
10.2 SPI 操作说明.....	66
10.2.1 信号说明 .....	66
10.2.1.1 主输出、从输入(MOSI) .....	66
10.2.1.2 主输入、从输出(MISO) .....	66
10.2.1.3 串行时钟(SCLK).....	67
10.2.1.4 片选信号(NSS).....	67
10.2.2 SPI 主机模式 .....	68
10.2.2.1 主机模式配置.....	68
10.2.3 SPI 从机模式 .....	69
10.2.3.1 从机模式配置.....	69
10.2.4 SPI 中断源 .....	69
10.2.5 串行时钟时序 .....	70
10.3 SPI 寄存器 .....	70
10.3.1 SPI_CR0 (0x4030).....	70
10.3.2 SPI_CR1 (0x4031).....	71
10.3.3 SPI_CLK (0x4032) .....	72
10.3.4 SPI_DR (0x4033) .....	72
<b>11 UART</b> .....	<b>73</b>
11.1 UART 简介 .....	73
11.2 UART 操作说明 .....	73
11.2.1 UART 模式 0.....	73

11.2.2 UART 模式 1 .....	74
11.2.3 UART 模式 2 .....	74
11.2.4 UART 模式 3 .....	74
11.2.5 UART 中断源 .....	74
11.3 UART 寄存器 .....	75
11.3.1 UT_CR (0x98) .....	75
11.3.2 UT_DR (0x99) .....	75
11.3.3 UT_BAUD (0x9A, 0x9B) .....	76
<b>12 LIN .....</b>	<b>77</b>
12.1 LIN 简介 .....	77
12.2 LIN 从机操作说明 .....	77
12.3 睡眠和唤醒 .....	78
12.4 错误侦测与处理 .....	78
12.5 LIN 自动寻址功能 .....	79
12.6 波特率模式切换 .....	80
12.7 其它事项 .....	80
12.8 LIN 寄存器 .....	80
12.8.1 LIN_CR (0xB9) .....	80
12.8.2 LIN_SR (0xBA) .....	81
12.8.3 LIN_CSR (0xBB) .....	82
12.8.4 LIN_ID (0xBC) .....	82
12.8.5 LIN_SIZE (0xBD) .....	83
12.8.6 LIN_BAUD (0xBF,0xBE) .....	83
<b>13 MDU .....</b>	<b>84</b>
13.1 MDU 简介 .....	84
13.2 MDU 特性 .....	84
13.3 MDU 功能说明 .....	84
13.3.1 操作方法 .....	84
13.3.2 运算结果左移 1 位的 16 位有符号乘法 .....	85
13.3.3 16 位有符号乘法 .....	85
13.3.4 16 位无符号乘法 .....	85
13.3.5 32 位/16 位的无符号除法 .....	86
13.3.6 低通滤波器 .....	86
13.3.7 坐标转换(sin/cos 计算) .....	86

13.3.8 反正切函数 .....	87
13.3.9 PI/PID .....	88
13.3.9.1 PI/PID 简介 .....	88
13.3.9.2 PI/PID 特性 .....	88
13.3.9.3 PI/PID 操作说明 .....	89
13.4 MDU 寄存器 .....	90
13.4.1 MDU_CR (0xC1) .....	90
13.4.2 MUL0_MA (0x0FA0, 0x0FA1) .....	90
13.4.3 MUL0_MB (0x0FA2, 0x0FA3) .....	90
13.4.4 MUL0_MC (0x0FA4, 0x0FA5, 0x0FA6, 0x0FA7) .....	91
13.4.5 MUL1_MA (0x0F98, 0x0F99) .....	91
13.4.6 MUL1_MB (0x0F9A, 0x0F9B) .....	92
13.4.7 MUL1_MC (0x0F9C, 0x0F9D, 0x0F9E, 0x0F9F) .....	92
13.4.8 MUL2_MA (0x0F40, 0x0F41) .....	92
13.4.9 MUL2_MB (0x0F42, 0x0F43) .....	93
13.4.10 MUL2_MC (0x0F44, 0x0F45, 0x0F46, 0x0F47) .....	93
13.4.11 MUL3_MA (0x0F38, 0x0F39) .....	94
13.4.12 MUL3_MB (0x0F3A, 0x0F3B) .....	94
13.4.13 MUL3_MC (0x0F3C, 0x0F3D, 0x0F3E, 0x0F3F) .....	94
13.4.14 DIV0_DA (0x0F8C, 0x0F8D, 0x0F8E, 0x0F8F) .....	95
13.4.15 DIV0_DB (0x0F90, 0x0F91) .....	95
13.4.16 DIV0_DQ (0x0F92, 0x0F93, 0x0F94, 0x0F95) .....	96
13.4.17 DIV0_DR (0x0F96, 0x0F97) .....	96
13.4.18 DIV1_DA (0x0F80, 0x0F81, 0x0F82, 0x0F83) .....	96
13.4.19 DIV1_DB (0x0F84, 0x0F85) .....	97
13.4.20 DIV1_DQ (0x0F86, 0x0F87, 0x0F88, 0x0F89) .....	97
13.4.21 DIV1_DR (0x0F8A, 0x0F8B) .....	98
13.4.22 DIV2_DA (0x0F2C, 0x0F2D, 0x0F2E, 0x0F2F) .....	98
13.4.23 DIV2_DB (0x0F30, 0x0F31) .....	99
13.4.24 DIV2_DQ (0x0F32, 0x0F33, 0x0F34, 0x0F35) .....	99
13.4.25 DIV2_DR (0x0F36, 0x0F37) .....	100
13.4.26 DIV3_DA (0x0F20, 0x0F21, 0x0F22, 0x0F23) .....	100
13.4.27 DIV3_DB (0x0F24, 0x0F25) .....	100
13.4.28 DIV3_DQ (0x0F26, 0x0F27, 0x0F28, 0x0F29) .....	101

13.4.29 DIV3_DR (0x0F2A, 0x0F2B).....	101
13.4.30 SCAT0_COS (0x0F16, 0x0F17).....	102
13.4.31 SCAT0_SIN (0x0F18, 0x0F19).....	102
13.4.32 SCAT0_THE (0x0F1A, 0x0F1B).....	102
13.4.33 SCAT0_RES1 (0x0F1C, 0x0F1D).....	103
13.4.34 SCAT0_RES2 (0x0F1E, 0x0F1F).....	103
13.4.35 SCAT1_COS (0x0F0C, 0x0F0D).....	103
13.4.36 SCAT1_SIN (0x0F0E, 0x0F0F).....	104
13.4.37 SCAT1_THE (0x0F10, 0x0F11).....	104
13.4.38 SCAT1_RES1 (0x0F12, 0x0F13).....	104
13.4.39 SCAT1_RES2 (0x0F14, 0x0F15).....	105
13.4.40 SCAT2_COS (0x0F02, 0x0F03).....	105
13.4.41 SCAT2_SIN (0x0F04, 0x0F05).....	105
13.4.42 SCAT2_THE (0x0F06, 0x0F07).....	106
13.4.43 SCAT2_RES1 (0x0F08, 0x0F09).....	106
13.4.44 SCAT2_RES2 (0x0F0A, 0x0F0B).....	106
13.4.45 SCAT3_COS (0x0EF8, 0x0EF9).....	107
13.4.46 SCAT3_SIN (0x0EFA, 0x0EFB).....	107
13.4.47 SCAT3_THE (0x0EFC, 0x0EFD).....	107
13.4.48 SCAT3_RES1 (0x0EFE, 0x0EFF).....	108
13.4.49 SCAT3_RES2 (0x0F00, 0x0F01).....	108
13.4.50 LPF0_K (0x0FD0, 0x0FD1).....	108
13.4.51 LPF0_X (0x0FD2, 0x0FD3).....	109
13.4.52 LPF0_Y (0x0FD4, 0x0FD5, 0x0FD6, 0x0FD7).....	109
13.4.53 LPF1_K (0x0FC8, 0x0FC9).....	109
13.4.54 LPF1_X (0x0FCA, 0x0FCB).....	110
13.4.55 LPF1_Y (0x0FCC, 0x0FCD, 0x0FCE, 0x0FCF).....	110
13.4.56 LPF2_K (0x0F78, 0x0F79).....	111
13.4.57 LPF2_X (0x0F7A, 0x0F7B).....	111
13.4.58 LPF2_Y (0x0F7C, 0x0F7D, 0x0F7E, 0x0F7F).....	111
13.4.59 LPF3_K (0x0F70, 0x0F71).....	112
13.4.60 LPF3_X (0x0F72, 0x0F73).....	112
13.4.61 LPF3_Y (0x0F74, 0x0F75, 0x0F76, 0x0F77).....	112
13.4.62 PIO_KP (0x0FB8, 0x0FB9).....	113

13.4.63 PIO_EK1 (0x0FBA, 0x0FBB).....	113
13.4.64 PIO_EK (0x0FBC, 0x0FBD).....	114
13.4.65 PIO_KI (0x0FBE, 0x0FBF) .....	114
13.4.66 PIO_UKH (0x0FC0, 0x0FC1) .....	114
13.4.67 PIO_UKL (0x0FC2, 0x0FC3) .....	115
13.4.68 PIO_UKMAX (0x0FC4, 0x0FC5).....	115
13.4.69 PIO_UKMIN (0x0FC6, 0x0FC7).....	115
13.4.70 PI1_KP (0x0FA8, 0x0FA9).....	116
13.4.71 PI1_EK1 (0x0FAA, 0x0FAB) .....	116
13.4.72 PI1_EK (0x0FAC, 0x0FAD) .....	116
13.4.73 PI1_KI (0x0FAE, 0x0FAF) .....	117
13.4.74 PI1_UKH (0x0FB0, 0x0FB1) .....	117
13.4.75 PI1_UKL (0x0FB2, 0x0FB3).....	117
13.4.76 PI1_UKMAX (0x0FB4, 0x0FB5).....	118
13.4.77 PI1_UKMIN (0x0FB6, 0x0FB7).....	118
13.4.78 PI2_KP (0x0F5C, 0x0F5D).....	118
13.4.79 PI2_EK1 (0x0F5E, 0x0F5F).....	119
13.4.80 PI2_EK (0x0F60, 0x0F61) .....	119
13.4.81 PI2_KI (0x0F62, 0x0F63) .....	119
13.4.82 PI2_UKH (0x0F64, 0x0F65) .....	120
13.4.83 PI2_UKL (0x0F66, 0x0F67) .....	120
13.4.84 PI2_UKMAX (0x0F68, 0x0F69).....	120
13.4.85 PI2_UKMIN (0x0F6A, 0x0F6B) .....	121
13.4.86 PI2_KD (0x0F6C, 0x0F6D) .....	121
13.4.87 PI2_EK2 (0x0F6E, 0x0F6F).....	121
13.4.88 PI3_KP (0x0F48, 0x0F49) .....	122
13.4.89 PI3_EK1 (0x0F4A, 0x0F4B) .....	122
13.4.90 PI3_EK (0x0F4C, 0x0F4D).....	122
13.4.91 PI3_KI (0x0F4E, 0x0F4F).....	123
13.4.92 PI3_UKH (0x0F50, 0x0F51) .....	123
13.4.93 PI3_UKL (0x0F52, 0x0F53) .....	123
13.4.94 PI3_UKMAX (0x0F54, 0x0F55).....	124
13.4.95 PI3_UKMIN (0x0F56, 0x0F57).....	124
13.4.96 PI3_KD (0x0F58, 0x0F59).....	124

13.4.97 PI3_EK2 (0x0F5A, 0x0F5B) .....	125
<b>14 FOC .....</b>	<b>126</b>
14.1 FOC 说明 .....	126
14.1.1 FOC 简介 .....	126
14.1.2 参考输入 .....	126
14.1.3 PI 控制器 .....	127
14.1.4 坐标转换 .....	127
14.1.4.1 Park 逆变换 .....	127
14.1.4.2 Clarke 变换 .....	128
14.1.4.3 Park 变换 .....	128
14.1.5 SVPWM .....	129
14.1.5.1 七段式 SVPWM .....	130
14.1.5.2 五段式 SVPWM .....	130
14.1.6 死区补偿 .....	131
14.1.7 电流电压采样 .....	131
14.1.7.1 单电阻采样模式 .....	131
14.1.7.2 双三电阻采样模式 .....	134
14.1.7.3 电流采样偏置 .....	135
14.1.8 角度模式 .....	135
14.1.8.1 估算器角度 .....	136
14.1.8.1.1 估算器估算角度 .....	136
14.1.8.1.2 估算器强制角度 .....	136
14.1.8.1.3 角度补偿 .....	137
14.1.9 电机实时参数 .....	137
14.1.9.1 顺风逆风检测 .....	138
14.1.9.2 反电动势检测 .....	138
14.1.9.3 电机功率 .....	138
14.2 FOC 寄存器 .....	138
14.2.1 FOC_CR0 (0x409F) .....	138
14.2.2 FOC_CR1 (0x40A0) .....	139
14.2.3 FOC_CR2 (0x40A1) .....	139
14.2.4 FOC_CR3 (0x409E) .....	140
14.2.5 FOC_CR4 (0x409D) .....	140
14.2.6 FOC_TSMIN (0x40A2) .....	141

14.2.7 FOC_TGLI (0x40A3) .....	141
14.2.8 FOC_TBLO (0x40A4) .....	142
14.2.9 FOC_TRGDLY (0x40A5) .....	142
14.2.10 FOC_CSO (0x40A6, 0x40A7) .....	142
14.2.11 FOC_EOMELPF (0x40AA, 0x40AB) .....	143
14.2.12 FOC__EMF (0x40AE, 0x40AF) .....	143
14.2.13 FOC_THECOMP (0x40AE, 0x40AF) .....	143
14.2.14 FOC__OMEEST (0x40B0, 0x40B1) .....	144
14.2.15 FOC__UD (0x40B8, 0x40B9) .....	144
14.2.16 FOC__UQ (0x40BA, 0x40BB) .....	144
14.2.17 FOC__ID (0x40BC, 0x40BD) .....	145
14.2.18 FOC__IQ (0x40BE, 0x40BF) .....	145
14.2.19 FOC__IBET (0x40C0, 0x40C1) .....	145
14.2.20 FOC__VBET (0x40C2, 0x40C3) .....	146
14.2.21 FOC_UDQCPS (0x40C2, 0x40C3) .....	146
14.2.22 FOC__VALP (0x40C4, 0x40C5) .....	146
14.2.23 FOC__IC (0x40C6, 0x40C7) .....	147
14.2.24 FOC__IB (0x40C8, 0x40C9) .....	147
14.2.25 FOC__IA (0x40CA, 0x40CB) .....	147
14.2.26 FOC__THETA (0x40CC, 0x40CD) .....	148
14.2.27 FOC__ETHETA (0x40CE, 0x40CF) .....	148
14.2.28 FOC__EALP (0x40D0, 0x40D1) .....	148
14.2.29 FOC__EBET (0x40D2, 0x40D3) .....	149
14.2.30 FOC__EOME (0x40D4, 0x40D5) .....	149
14.2.31 FOC__POW (0x40D8, 0x40D9) .....	149
14.2.32 FOC_EOMEKLPF (0x40D8) .....	150
14.2.33 FOC__IAMAX (0x40DA, 0x40DB) .....	150
14.2.34 FOC__IBMAX (0x40DC, 0x40DD) .....	150
14.2.35 FOC__ICMAX (0x40DE, 0x40DF) .....	151
14.2.36 FOC_DKP (0x4070, 0x4071) .....	151
14.2.37 FOC_EKP (0x4074, 0x4075) .....	151
14.2.38 FOC_EKI (0x4076, 0x4077) .....	152
14.2.39 FOC_DMAX (0x4078) .....	152
14.2.40 FOC_DMIN (0x4079) .....	152

14.2.41 FOC_EKLPFMIN (0x407A, 0x407B).....	153
14.2.42 FOC_DKI (0x407C, 0x407D).....	153
14.2.43 FOC_OMEKLPF (0x407E, 0x407F) .....	153
14.2.44 FOC_FBASE (0x4080, 0x4081).....	154
14.2.45 FOC_EFREQACC (0x4082, 0x4083) .....	154
14.2.46 FOC_EFREQMIN (0x4084, 0x4085) .....	154
14.2.47 FOC_EFREQHOLD (0x4086, 0x4087).....	155
14.2.48 FOC_EK3 (0x4088, 0x4089).....	155
14.2.49 FOC_QMAX (0x408A).....	156
14.2.50 FOC_QMIN (0x408B) .....	156
14.2.51 FOC_EK1 (0x408C, 0x408D) .....	156
14.2.52 FOC_EK2 (0x408E, 0x408F).....	156
14.2.53 FOC_IDREF (0x4090, 0x4091) .....	157
14.2.54 FOC_IQREF (0x4092, 0x4093).....	157
14.2.55 FOC_QKP (0x4094, 0x4095).....	157
14.2.56 FOC_QKI (0x4096, 0x4097).....	158
14.2.57 FOC__UDCFLT (0x4098, 0x4099) .....	158
<b>15 步进控制器.....</b>	<b>159</b>
15.1 步进控制器说明.....	159
15.1.1 步进控制器简介 .....	159
15.1.2 两相步进 SVPWM 原理 .....	160
15.1.3 角度模式 .....	160
15.1.4 死区补偿 .....	161
15.1.5 Alpha/Beta 轴电压幅值补偿.....	161
15.1.6 Beta 轴电压相位补偿.....	161
15.1.7 电机实时参数 .....	161
15.2 步进控制器寄存器.....	162
15.2.1 FOC_CR1 (0x40A0).....	162
15.2.2 ST_VABK (0x40D8).....	162
15.2.3 ST_BPCOMP (0x40AE) .....	162
15.2.4 ST_DZCOMP (0x40A2) .....	163
15.2.5 ST__ETHETA(0x40AA, 0x40AB).....	163
15.2.6 ST__OMEEST(0x40B0, 0x40B1) .....	163
<b>16 Timer1.....</b>	<b>164</b>

16.1 Timer1 操作说明 .....	164
16.1.1 Timer1 计数单元 .....	165
16.1.1.1 分频器 .....	165
16.1.1.2 基本计数器 .....	166
16.1.1.3 重载计数器 .....	167
16.1.2 位置检测 .....	167
16.1.2.1 位置检测信号 .....	167
16.1.2.2 CMP/GPIO 位置检测事件 .....	168
16.1.2.3 ADC 位置检测事件 .....	168
16.1.2.4 采样 .....	169
16.1.2.5 滤波 .....	169
16.1.3 写入时序中断 .....	170
16.1.4 Timer1 中断 .....	170
16.2 BLDC 电机方波驱动 .....	171
16.2.1 方波驱动的六步换相 .....	172
16.2.2 方波驱动的工作原理 .....	172
16.2.2.1 60 度基准时间 .....	173
16.2.2.2 60 度强制换相 .....	173
16.2.2.3 定时器续流屏蔽 .....	173
16.2.2.4 自适应续流屏蔽 .....	174
16.2.2.5 位置检测成功到换相的角度 .....	174
16.2.2.6 逐波限流 .....	174
16.3 Timer1 寄存器 .....	174
16.3.1 TIM1_CR0 (0x4068) .....	174
16.3.2 TIM1_CR1 (0x4069) .....	175
16.3.3 TIM1_CR2 (0x406A) .....	176
16.3.4 TIM1_CR3 (0x406B) .....	176
16.3.5 TIM1_CR4 (0x406C) .....	177
16.3.6 TIM1_IER (0x406D) .....	177
16.3.7 TIM1__BCOR (0x4070, 0x4071) .....	178
16.3.8 TIM1_CR5 (0x4072) .....	178
16.3.9 TIM1_DBR1 (0x4074, 0x4075) .....	179
16.3.10 TIM1_DBR2 (0x4076, 0x4077) .....	180
16.3.11 TIM1_DBR3 (0x4078, 0x4079) .....	181

16.3.12 TIM1_DBR4 (0x407A, 0x407B).....	183
16.3.13 TIM1_DBR5 (0x407C, 0x407D) .....	184
16.3.14 TIM1_DBR6 (0x407E, 0x407F) .....	185
16.3.15 TIM1_DBR7 (0x4080, 0x4081) .....	186
16.3.16 TIM1__BCNTR (0x4082, 0x4083) .....	187
16.3.17 TIM1__BCCR (0x4084, 0x4085) .....	188
16.3.18 TIM1__BARR (0x4086, 0x4087) .....	188
16.3.19 TIM1__RARR (0x4088, 0x4089) .....	188
16.3.20 TIM1__RCNTR (0x408A, 0x408B) .....	189
16.3.21 TIM1__UCOP (0x408C, 0x408D) .....	189
16.3.22 TIM1__UFLP (0x408E, 0x408F) .....	189
16.3.23 TIM1__URES (0x4090, 0x4091) .....	190
16.3.24 TIM1_KRMAX (0x4092).....	190
16.3.25 TIM1_KFMIN (0x4093).....	190
16.3.26 TIM1_KF (0x4094, 0x4095) .....	190
16.3.27 TIM1_KR (0x4096, 0x4097).....	191
16.3.28 TIM1__ITRIP (0x4098, 0x4099).....	191
<b>17 Timer2.....</b>	<b>192</b>
17.1 Timer2 操作说明 .....	192
17.1.1 分频器 .....	192
17.1.2 TIM2__CNTR 的读写和计数.....	193
17.1.3 输出模式 .....	193
17.1.3.1 TIM2__ARR/TIM2__DR 的读写 .....	193
17.1.3.2 高/低电平输出模式 .....	193
17.1.3.3 PWM 输出.....	194
17.1.3.4 中断事件.....	194
17.1.4 输入信号滤波和边沿检测 .....	194
17.1.5 输入捕获模式 .....	195
17.1.6 输入计数模式 .....	196
17.1.7 QEP&RSD 模式 .....	197
17.1.7.1 RSD 的比较器采样.....	198
17.1.8 步进模式 .....	199
17.2 Timer2 寄存器 .....	200
17.2.1 TIM2_CR0 (0xA1) .....	200

17.2.2 TIM2_CR1 (0xA9) .....	201
17.2.3 TIM2_CNTR (0xAA, 0xAB) .....	202
17.2.4 TIM2_DR (0xAC, 0xAD) .....	202
17.2.5 TIM2_ARR (0xAE, 0xAF) .....	203
<b>18 Timer3/Timer4.....</b>	<b>204</b>
18.1 Timer3/Timer4 操作说明 .....	204
18.1.1 分频器 .....	204
18.1.2 TIMx_CNTR 的读写和计数 .....	204
18.1.3 输出模式 .....	205
18.1.3.1 高/低电平输出模式 .....	205
18.1.3.2 PWM 输出 .....	205
18.1.3.3 中断事件 .....	205
18.1.4 输入信号滤波和边沿检测 .....	206
18.1.5 输入捕获模式 .....	207
18.1.6 Timer4 的 FG 输出模式 .....	208
18.2 Timer3/Timer4 寄存器 .....	208
18.2.1 TIMx_CR0 (0x9C/0x9E) (x = 3/4) .....	208
18.2.2 TIMx_CR1 (0x9D/0x9F) (x = 3/4) .....	209
18.2.3 TIMx_CNTR (0xA2, 0xA3/0x92, 0x93) (x = 3/4) .....	210
18.2.4 TIMx_DR (0xA4, 0xA5/0x94, 0x95) (x = 3/4) .....	210
18.2.5 TIMx_ARR (0xA6, 0xA7/0x96, 0x97) (x = 3/4) .....	210
<b>19 Systick .....</b>	<b>211</b>
19.1 Systick 操作说明 .....	211
19.2 Systick 寄存器 .....	211
19.2.1 SYST_CR (0x4064) .....	211
<b>20 Driver .....</b>	<b>212</b>
20.1 Driver 操作说明 .....	212
20.1.1 FU6881Q1 Driver 简介 .....	212
20.1.2 输出控制模块 .....	212
20.1.2.1 计数比较模块 .....	213
20.1.2.2 输出使能与极性 .....	213
20.1.2.3 中断 .....	214
20.1.2.3.1 比较匹配中断 .....	214
20.2 Driver 寄存器 .....	215

20.2.1 DRV_DTR(0x4060) .....	215
20.2.2 DRV_CR0 (0x4062).....	215
20.2.3 DRV_CR1 (0x4061).....	216
20.2.4 DRV_OUT (0xF8) .....	217
20.2.5 DRV_CMR (0x405C, 0x405D) .....	217
20.2.6 DRV_ARR (0x405E, 0x405F) .....	218
20.2.7 DRV_COMR (0x405A, 0x405B).....	219
20.2.8 DRV_DR (0x4058, 0x4059).....	219
20.2.9 DRV__CNTR (0x4066, 0x4067).....	220
<b>21 时钟 .....</b>	<b>221</b>
21.1 时钟简介 .....	221
21.2 时钟校准简介 .....	221
21.2.1 时钟校准寄存器 .....	221
21.2.2 CAL_CR (0x4044, 0x4045).....	221
<b>22 WDT .....</b>	<b>223</b>
22.1 WDT 使用注意事项.....	223
22.2 WDT 操作说明 .....	223
22.3 WDT 寄存器 .....	224
22.3.1 WDT_CR (0x4026).....	224
22.3.2 WDT_ARR (0x4027) .....	224
22.3.3 CCFG1 (0x401E) .....	224
<b>23 RTC.....</b>	<b>225</b>
23.1 RTC 基本功能框图 .....	225
23.2 RTC 操作说明 .....	225
23.3 RTC 寄存器 .....	225
23.3.1 RTC_TM (0x402C, 0x402D) .....	225
23.3.2 RTC_STA (0x402E).....	225
<b>24 IO.....</b>	<b>227</b>
24.1 IO 简介.....	227
24.2 IO 配置说明.....	227
24.3 IO 寄存器.....	227
24.3.1 P0_OE (0xFC) .....	227
24.3.2 P1_OE (0xFD) .....	227
24.3.3 P1_AN (0x4050).....	228

24.3.4 P0_PU (0x4053) .....	228
24.3.5 P1_PU (0x4054) .....	228
24.3.6 Px_PL (0x4052) .....	229
24.3.7 PH_SEL (0x404C) .....	229
24.3.8 PH_SEL1 (0x404D) .....	230
24.3.9 P0 (0x80) .....	230
24.3.10 P1 (0x90) .....	231
<b>25 温度传感器 .....</b>	<b>232</b>
25.1 温度传感器寄存器 .....	234
25.1.1 TSD_CR (0x402F) .....	234
25.1.2 TSEN_DR (0x4048) .....	234
<b>26 ADC .....</b>	<b>235</b>
26.1 ADC 简介 .....	235
26.2 ADC 框图 .....	235
26.3 ADC 操作说明 .....	236
26.3.1 顺序采样模式 .....	236
26.3.2 触发采样模式 .....	237
26.3.3 输出数据格式 .....	237
26.4 ADC 寄存器 .....	237
26.4.1 ADC_CR (0x4039) .....	237
26.4.2 ADC_MASK (0x4036, 0x4037) .....	238
26.4.3 ADC_SCYC1 (0x4035) .....	239
26.4.4 ADC_SCYC2 (0x4038) .....	239
26.4.5 ADC0_DR (0x0FD8, 0x0FD9) .....	239
26.4.6 ADC1_DR (0x0FDA, 0x0FDB) .....	240
26.4.7 ADC2_DR (0x0FDC, 0x0FDD) .....	240
26.4.8 ADC3_DR (0x0FDE, 0x0FDF) .....	240
26.4.9 ADC4_DR (0x0FE0, 0x0FE1) .....	241
26.4.10 ADC5_DR (0x0FE2, 0x0FE3) .....	241
26.4.11 ADC6_DR (0x0FE4, 0x0FE5) .....	241
26.4.12 ADC7_DR (0x0FE6, 0x0FE7) .....	242
26.4.13 ADC8_DR (0x0FE8, 0x0FE9) .....	242
26.4.14 ADC9_DR (0x0FEA, 0x0FEB) .....	243
26.4.15 ADC10_DR (0x0FEC, 0x0FED) .....	243

<b>27 DMA</b> .....	<b>244</b>
27.1 DMA 功能与说明 .....	244
27.2 DMA 寄存器 .....	245
27.2.1 DMA0_CR0 (0x403A) .....	245
27.2.2 DMA1_CR0 (0x403B) .....	246
27.2.3 DMA0_LEN (0x403C) .....	247
27.2.4 DMA0_BA (0x403E, 0x403F).....	247
27.2.5 DMA1_LEN (0x403D) .....	247
27.2.6 DMA1_BA (0x4040, 0x4041).....	248
<b>28 VREF</b> .....	<b>249</b>
28.1 VREF 模块的操作说明 .....	249
28.2 VREF 寄存器 .....	249
28.2.1 VREF_CR (0x404F).....	249
<b>29 电流采样</b> .....	<b>250</b>
29.1 电流采样说明 .....	250
29.2 电流采样寄存器.....	250
29.2.1 AMP_CR0 (0x404E).....	250
29.2.2 AMP_CR1 (0x4034).....	250
<b>30 比较器</b> .....	<b>252</b>
30.1 比较器操作说明.....	252
30.1.1 比较器 CMP3 .....	252
30.1.1.1 母线过流保护.....	252
30.1.1.2 逐波限流.....	252
30.1.2 比较器组 CMPG .....	253
30.1.2.1 有内置电阻三比较器模式 .....	254
30.1.2.2 双比较器模式 .....	254
30.1.3 比较器采样 .....	255
30.2 比较器寄存器 .....	256
30.2.1 CMP_CR0 (0xD5).....	256
30.2.2 CMP_CR1 (0xD6).....	256
30.2.3 CMP_CR2 (0xDA) .....	257
30.2.4 CMP_CR3 (0xDC) .....	257
30.2.5 CMP_CR4 (0xE1) .....	258
30.2.6 CMP_SAMR (0x40AD).....	259

30.2.7 CMP_SR (0xD7) .....	259
30.2.8 HALL_CR (0xE2).....	260
30.2.9 LCP_DR (0x404A) .....	260
30.2.10 EVT_FILT (0xD9).....	260
<b>31 过压保护(OVP)和过流保护(OCP) .....</b>	<b>262</b>
31.1 OVP .....	262
31.2 OCP.....	262
31.3 OVP & OCP 寄存器 .....	262
31.3.1 OVCP_CR (0xE3).....	262
<b>32 电源模块.....</b>	<b>264</b>
32.1 低压检测 .....	264
32.1.1 低压检测简介 .....	264
32.1.2 低压检测操作说明 .....	264
32.1.3 低压检测寄存器 .....	265
32.1.3.1 LVSR (0xDB).....	265
<b>33 EEPROM .....</b>	<b>267</b>
33.1 EEPROM 简介 .....	267
33.2 主要特性 .....	267
33.3 操作说明 .....	268
33.3.1 读模式.....	268
33.3.2 写模式.....	269
33.4 EEPROM 寄存器 .....	270
33.4.1 I2C_CR (0x4028) .....	270
33.4.2 PH_SEL2 (0x4049).....	271
<b>34 Flash.....</b>	<b>272</b>
34.1 Flash 简介 .....	272
34.2 Flash 操作说明 .....	272
34.3 Flash 寄存器 .....	272
34.3.1 FLA_CR (0x85).....	272
34.3.2 FLA_KEY (0x84) .....	273
<b>35 CRC .....</b>	<b>274</b>
35.1 CRC 功能框图.....	274
35.2 CRC16 多项式.....	274
35.3 CRC16 基本逻辑图.....	274

35.4 CRC 操作说明 .....	275
35.4.1 计算单个字节的 CRC .....	275
35.4.2 批量计算 ROM 数据 CRC .....	275
35.5 CRC 寄存器 .....	276
35.5.1 CRC_CR (0x4022) .....	276
35.5.2 CRC_DIN (0x4021) .....	277
35.5.3 CRC_DR (0x4023) .....	277
35.5.4 CRC_BEG (0x4024) .....	277
35.5.5 CRC_CNT (0x4025) .....	278
<b>36 休眠模式 .....</b>	<b>279</b>
36.1 休眠模式简介 .....	279
36.2 休眠模式寄存器 .....	280
36.2.1 PCON(0x87) .....	280
<b>37 代码保护 .....</b>	<b>281</b>
37.1 代码保护简介 .....	281
37.2 代码保护操作说明 .....	281
<b>38 修改记录 .....</b>	<b>283</b>

## 符号意义说明

- 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
- Pm.n表示Portm的第n个端口。例: P0.0表示Port0的0号端口
- 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 Converter 模数转换器
- BEMF: Back Electromotive Force 反电动势
- BLDC: Brushless Direct Current 无刷直流电机
- CRC: Cyclic Redundancy Check 循环冗余校验功能
- DAC: Digital to Analog Converter 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
- EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory 电可擦写可编程只读存储器
- 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<sup>2</sup>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
- IRAM: Internal RAM 内置随机存储器
- 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
- LSB: Least Significant Bit 最低有效位
- LVD: Low Voltage Detection 低电压检测
- MDU: Multiplication Division Unit 乘除计算协处理器
- 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
- OCP: Over Current Protection 过流保护
- OVP: Over Voltage Protection 过压保护
- 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
- 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  
SCL: Serial Clock Line 串行时钟线  
SDA: Serial Data Line 串行数据线  
SFR: Special Function Register 特殊功能寄存器  
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  
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  
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: 外部电源从 VCC 输入 6.5V ~ 20V, VDD5 由内部 LDO 产生
- 双核: 8051 内核和 ME
- 指令周期大多为 1 或 2 个系统时钟周期
- 32kB Flash ROM、带 CRC 校验功能、支持程序自烧录和代码保护功能
- 256 bytes IRAM、3.75k bytes XRAM
- 内置 2k bits EEPROM, 通过 I<sup>2</sup>C 进行数据读写
- 包含过温预警、过流、过压
- ME: 包含 PID 控制模块、FOC 模块、MDU 辅助计算模块、LPF
- 16 个中断源, 可设为 4 个优先级
- GPIO: 16 个
- 定时器:
  - Timer1: 方波驱动时序控制、支持自动换相、自适应续流屏蔽、逐波限流、支持 Hall/BEMF 位置检测
  - Timer2: PWM 输出、输入 PWM 的占空比和周期检测、输入设定 PWM 数的时间、正交编码器解码、顺逆风检测、步进电机的方向和速度检测。
  - Timer3/Timer4: PWM 输出、输入 PWM 的占空比和周期检测。Timer4 支持 FG 输出模式, Timer3 支持 40MHz 输入模式
  - SysTick 定时器
  - RTC 定时器
- 通信接口:
  - 1 个 SPI
  - 1 个 I<sup>2</sup>C
  - 1 个 UART, 支持单线模式
  - 1 个 LIN, 集成 LIN 收发器, 支持单线模式, 支持手动波特率和自动波特率两种模式, 支持自动寻址
  - 2 通道 DMA: 支持 I<sup>2</sup>C/SPI/UART/LIN 数据传输
- 模拟外设:
  - 12 位 ADC: 可选择内部 VREF、外部 VREF 作参考电压
  - ADC 通道数: 11 通道
  - 内置 VREF 参考, 可配置 3V、4V、4.5V、VDD5

- 带过零检测电路
- 2路模拟比较器
- DAC: 1路6位
- 驱动类型
  - 内置 MOSFET, 上桥 + 下桥 =  $0.25\Omega$
  - 驱动平均电流: 1A
- FOC 驱动支持单电阻、双电阻、三电阻电流采样
- 两相步进驱动采用 SVPWM 控制, 使用三相逆变器的拓扑结构驱动两相步进电机, 支持双电阻电流采样
- 时钟
  - 内置 20MHz 高速 RC 振荡器
  - 内置 32.8kHz 低速 RC 振荡器
- WDT
- LVD
- 温度传感器
- 两线制 FICE 协议提供在线仿真功能
- AEC-Q100 认证(Grade 1)

## 1.2 应用场景

应用领域: 汽车格栅, 空调出风口, 热管理阀门, 座椅通风, 充电口翻盖。

## 1.3 概述

FU6881Q1 是一款集成电机控制引擎(ME)和 8051 内核, 同时内置 MOS 驱动器的高性能电机驱动专用芯片。ME 集成了 FOC、MDU、LPF、PID、SVPWM 等诸多硬件模块, 可由硬件自动完成有感/无感 BLDC 电机/PMSM 的 FOC 驱动/方波驱动的运算和控制, 且支持两相步进电机的 SVPWM 控制; 8051 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。其中 8051 内核大部分指令周期为 1T 或 2T。芯片内部集成有高速运算放大器、比较器、高速 ADC、CRC、SPI、I<sup>2</sup>C、UART、LIN、多种 Timer 等功能, 其中 LIN 模块支持各波特率下的多从机自动寻址功能。内置 MOS 驱动器, 可支持最大 1A 的驱动电流。内置 EEPROM 模块, 提供额外 2k bits 存储空间。内置高压 LDO, 适用于 BLDC/PMSM 电机的方波、FOC 驱动控制及两相步进电机的 SVPWM 控制。

## 1.4 系统框图

### 1.4.1 FU6881Q1 功能框图

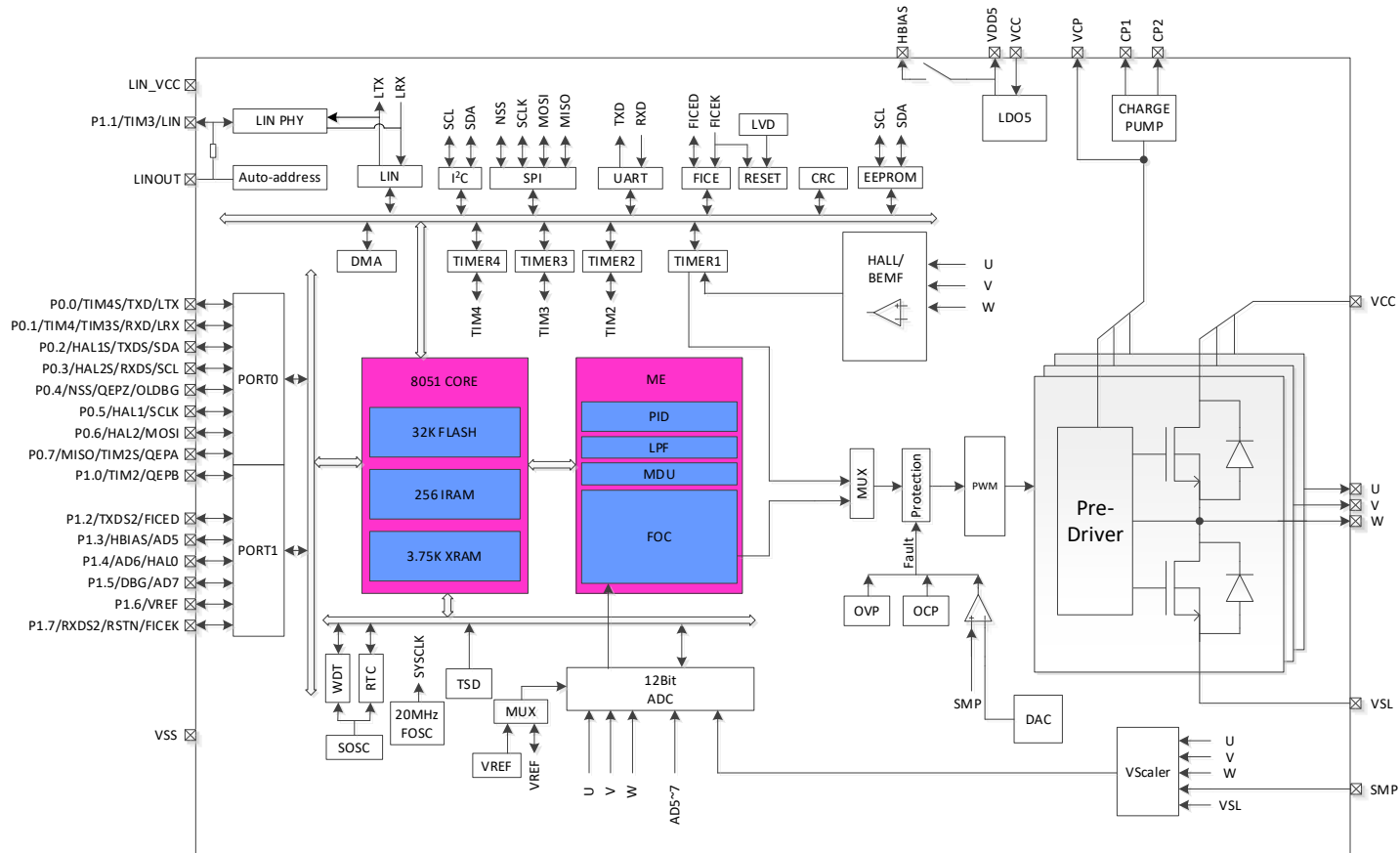


图 1-1 FU6881Q1 功能框图

## 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。

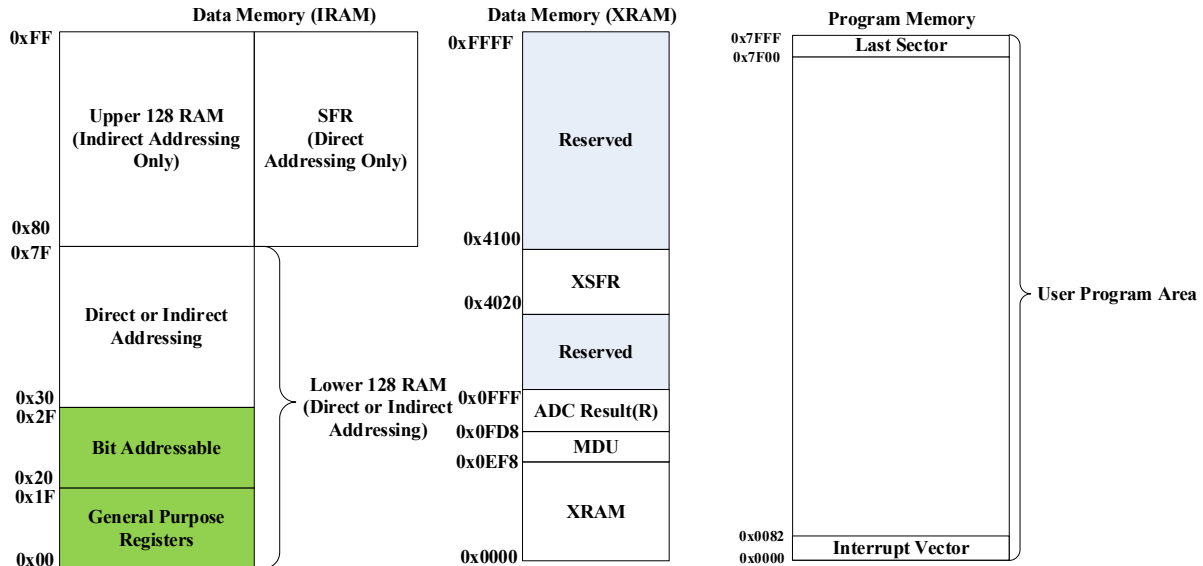


图 1-2 Memory 空间分配

### 1.5.1 Program Memory

指令空间可寻址范围(0x0000 ~ 0x7FFF)。指令空间存储介质为 Flash, 用于存储控制程序。

0x0000 ~ 0x0082 是中断向量地址区, 用于保存各个中断子程序的起始地址。最后一个扇区(0x7F00-0x7FFF)内配置有芯片内部控制位。

### 1.5.2 Data Memory

数据空间分为外部数据空间(External Data Memory)和内部数据空间(Internal Data Memory), 如图 1-2 所示。

外部数据空间的地址范围为(0x0000 ~ 0xFFFF), 仅可通过 MOVX 指令访问。其中包括外部数据存储空间 XRAM(0x0000 ~ 0x0EF7)、扩展控制寄存器空间(0x4020 ~ 0x40FF)、MDU 寄存器存储区域(0x0EF8 ~ 0x0FD7)、ADC 转换结果存储区域(0x0FD8 ~ 0x0FFF)。

内部数据空间的地址范围为(0x00 ~ 0xFF)。其中(0x00 ~ 0x1F)为通用寄存器空间, 包含 4 组, 每组 8 个, 共 32 个通用寄存器。(0x20 ~ 0x7F)为通用 RAM 空间, 支持直接寻址和间接寻址访问, 其中(0x20 ~ 0x2F)的 16Bytes 支持位寻址操作。(0x80 ~ 0xFF), 在间接寻址访问时, 指向 RAM 空间, 直接寻址访问时, 指向 SFR 空间。

### 1.5.3 SFR

表 1-1 SFR 地址映射

Addr	0 (8)	1 (9)	2 (A)	3 (B)	4 (C)	5 (D)	6 (E)	7 (F)
0xF8	DRV_OUT		INT_SR6		PO_OE	P1_OE		
0xF0	B		INT_SRO	INT_SR1	INT_SR2	INT_SR3	INT_SR4	INT_SR5
0xE8								
0xE0	ACC	CMP_CR4	HALL_CR	OVCPR_CR				
0xD8		EVT_FILT	CMP_CR2	LVSR	CMP_CR3			
0xD0	PSW	EXT1_IE	EXT1_IF			CMP_CRO	CMP_CR1	CMP_SR
0xC8		RST_SR						
0xC0		MDU_CR						
0xB8		LIN_CR	LIN_SR	LIN_CSR	LIN_ID	LIN_SIZE	LIN_BAUDL	LIN_BAUDH
0xB0								
0xA8	IE	TIM2_CR1	TIM2_CNTRL	TIM2_CNTRH	TIM2_DRL	TIM2_DRH	TIM2_ARRL	TIM2_ARRH
0xA0		TIM2_CRO	TIM3_CNTRL	TIM3_CNTRH	TIM3_DRL	TIM3_DRH	TIM3_ARRL	TIM3_ARRH
0x98	UT_CR	UT_DR	UT_BAUDL	UT_BAUDH	TIM3_CRO	TIM3_CR1	TIM4_CRO	TIM4_CR1
0x90	P1	CK_CR	TIM4_CNTRL	TIM4_CNTRH	TIM4_DRL	TIM4_DRH	TIM4_ARRL	TIM4_ARRH
0x88	TCON		IPO	IP1	IP2	IP3	CHIPIDL	CHIPIDH
0x80	PO	SP	DPL	DPH	FLA_KEY	FLA_CR		PCON

注:

- 有双下划线的寄存器为16位快照寄存器，快照寄存器均为动态寄存器，需要使用变量将其值读出；直接读取寄存器将导致读出值不正确。
- 8位单片机读16位寄存器需要分两次读，有可能造成读高8位和低8位时，寄存器的值发生变化，导致读出的值不正确。所以快照寄存器在读高8位时，芯片会将低8位快照，当读低8位时，读的是快照的值，并非实时值。
- 快照寄存器必须先读高8位，再读低8位，而且必须整体读，不能只读高8位或者只读低8位。

**1.5.4 XSFR**

表 1-2 XSFR 地址映射

Addr	0 (8)	1 (9)	2 (A)	3 (B)	4 (C)	5 (D)	6 (E)	7 (F)
0x40E8							DEL_THEH	DEL_THEL
0x40D8	FOC_POWH	FOC_POWL	FOC_IAMAXH	FOC_IAMAXL	FOC_IBMAXH	FOC_IBMAXL	FOC_ICMAXH	FOC_ICMAXL
	FOC_EOMEKLPF							
	ST_VABK							
0x40D0	FOC_EALPH	FOC_EALPL	FOC_EBETH	FOC_EBETL	FOC_EOMEH	FOC_EOMEL		
0x40C8	FOC_IBH	FOC_IBL	FOC_IAH	FOC_IAL	FOC_THETAH	FOC_THETAL	FOC_ETHETAH	FOC_ETHETAL
0x40C0	FOC_IBETH	FOC_IBETL	FOC_VBETH	FOC_VBETL	FOC_VALPH	FOC_VALPL	FOC_ICH	FOC_ICL
			FOC_UDQCPSH	FOC_UDQCPSL				
0x40B8	FOC_UDH	FOC_UDL	FOC_UQH	FOC_UQL	FOC_IDH	FOC_IDL	FOC_IQH	FOC_IQL
0x40B0	FOC_OMEESTH	FOC_OMEESTL						
	ST_OMEESTH	ST_OMEESTL						
0x40A8			FOC_EOMELPFH	FOC_EOMELPFL			FOC_THECOMP	FOC_THECOMPL
				ST_ETHETAH			ST_BPCOMP	
						CMP_SAMR	FOC_EMFH	FOC_EMFL
0x40A0	FOC_CR1	FOC_CR2	FOC_TSMIN	FOC_TGLI	FOC_TBLO	FOC_TRGDLY	FOC_CSOH	FOC_CSOL
			ST_DZCOMP					
0x4098	FOC_UDCFLTH	FOC_UDCFLTL				FOC_CR4	FOC_CR3	FOC_CRO
	TIM1_ITRIPH	TIM1_ITRIPL						
0x4090	FOC_IDREFH	FOC_IDREFL	FOC_IQREFH	FOC_IQREFL	FOC_QKPH	FOC_QKPL	FOC_QKIH	FOC_QKIL
	TIM1_URESH	TIM1_URESL	TIM1_KRMX	TIM1_KFMIN	TIM1_KFH	TIM1_KFL	TIM1_KRH	TIM1_KRL
0x4088	FOC_EK3H	FOC_EK3L	FOC_QMAX	FOC_QMIN	FOC_EK1H	FOC_EK1L	FOC_EK2H	FOC_EK2L
	TIM1_RARRH	TIM1_RARRL	TIM1_RCNRH	TIM1_RCNTRL	TIM1_UCOPH	TIM1_UCOPL	TIM1_UFLPH	TIM1_UFLPL
0x4080	FOC_FBASEH	FOC_FBASEL	FOC_EFREQACCH	FOC_EFREQACCL	FOC_EFREQMINH	FOC_EFREQMINL	FOC_EFREQHOLDH	FOC_EFREQHOLDL
	TIM1_DBR7H	TIM1_DBR7L	TIM1_BCNRH	TIM1_BCNTRL	TIM1_BCCRH	TIM1_BCCRL	TIM1_BARRH	TIM1_BARRL
0x4078	FOC_DMAX	FOC_DMIN	FOC_EKLPFMINH	FOC_EKLPFMINL	FOC_DKIH	FOC_DKIL	FOC_OMEKLPFH	FOC_OMEKLPFL
	TIM1_DBR3H	TIM1_DBR3L	TIM1_DBR4H	TIM1_DBR4L	TIM1_DBR5H	TIM1_DBR5L	TIM1_DBR6H	TIM1_DBR6L
0x4070	TIM1_BCORH	TIM1_BCORL	TIM1_CR5		FOC_EKPH	FOC_EKPL	FOC_EKIH	FOC_EKIL
	FOC_DKPH	FOC_DKPL			TIM1_DBR1H	TIM1_DBR1L	TIM1_DBR2H	TIM1_DBR2L
0x4068	TIM1_CRO	TIM1_CR1	TIM1_CR2	TIM1_CR3	TIM1_CR4	TIM1_IER		
0x4060	DRV_DTR	DRV_CR1	DRV_CRO		SYST_CR		DRV_CNTRH	DRV_CNTRL
0x4058	DRV_DRH	DRV_DRL	DRV_COMRH	DRV_COMRL	DRV_CMRH	DRV_CMRL	DRV_ARRH	DRV_ARRL
0x4050	P1_AN		PX_PL	PO_PU	P1_PU			
0x4048	TSEN_DR	PH_SEL2	LCP_DR		PH_SEL	PH_SEL1	AMP_CRO	VREF_CR
0x4040	DMA1_BAH	DMA1_BAL			CAL_CRO	CAL_CR1		
0x4038	ADC_SCYC2	ADC_CR	DMA0_CRO	DMA1_CRO	DMA0_LEN	DMA1_LEN	DMA0_BAH	DMA0_BAL
0x4030	SPI_CRO	SPI_CR1	SPI_CLK	SPI_DR	AMP_CR1	ADC_SCYC1	ADC_MASKH	ADC_MASKL
0x4028	I2C_CR	I2C_ID	I2C_DR	I2C_SR	RTC_TMH	RTC_TML	RTC_STA	TSD_CR

Addr	0(8)	1(9)	2(A)	3(B)	4(C)	5(D)	6(E)	7(F)
0x4020		CRC_DIN	CRC_CR	CRC_DR	CRC_BEG	CRC_CNT	WDT_CR	WDT_ARR
0x0FE8	AD8_DRH	AD8_DRL	AD9_DRH	AD9_DRL	AD10_DRH	AD10_DRL		
0x0FE0	AD4_DRH	AD4_DRL	AD5_DRH	AD5_DRL	AD6_DRH	AD6_DRL	AD7_DRH	AD7_DRL
0x0FD8	ADO_DRH	ADO_DRL	AD1_DRH	AD1_DRL	AD2_DRH	AD2_DRL	AD3_DRH	AD3_DRL
0x0FD0	LPFO_K		LPFO_X		LPFO_YH		LPFO_YL	
0x0FC8	LPF1_K		LPF1_X		LPF1_YH		LPF1_YL	
0x0FC0	PIO_UKH		PIO_UKL		PIO_UKMAX		PIO_UKMIN	
0x0FB8	PIO_KP		PIO_EK1		PIO_EK		PIO_KI	
0x0FB0	PI1_UKH		PI1_UKL		PI1_UKMAX		PI1_UKMIN	
0x0FA8	PI1_KP		PI1_EK1		PI1_EK		PI1_KI	
0x0FA0	MULO_MA		MULO_MB		MULO_MCH		MULO_MCL	
0x0F98	MUL1_MA		MUL1_MB		MUL1_MCH		MUL1_MCL	
0x0F90	DIV0_DB		DIV0_DQH		DIV0_DQL		DIV0_DR	
0x0F88	DIV1_DQL		DIV1_DR		DIV0_DAH		DIV0_DAL	
0x0F80	DIV1_DAH		DIV1_DAL		DIV1_DB		DIV1_DQH	
0x0F78	LPF2_K		LPF2_X		LPF2_YH		LPF2_YL	
0x0F70	LPF3_K		LPF3_X		LPF3_YH		LPF3_YL	
0x0F68	PI2_UKMAX		PI2_UKMIN		PI2_KD		PI2_EK2	
0x0F60	PI2_EK		PI2_KI		PI2_UKH		PI2_UKL	
0x0F58	PI3_KD		PI3_EK2		PI2_KP		PI2_EK1	
0x0F50	PI3_UKH		PI3_UKL		PI3_UKMAX		PI3_UKMIN	
0x0F48	PI3_KP		PI3_EK1		PI3_EK		PI3_KI	
0x0F40	MUL2_MA		MUL2_MB		MUL2_MCH		MUL2_MCL	
0x0F38	MUL3_MA		MUL3_MB		MUL3_MCH		MUL3_MCL	
0x0F30	DIV2_DB		DIV2_DQH		DIV2_DQL		DIV2_DR	
0x0F28	DIV3_DQL		DIV3_DR		DIV2_DAH		DIV2_DAL	
0x0F20	DIV3_DAH		DIV3_DAL		DIV3_DB		DIV3_DQH	
0x0F18	SCAT0_SIN		SCAT0_THE		SCAT0_RES1		SCAT0_RES2	
0x0F10	SCAT1_THE		SCAT1_RES1		SCAT1_RES2		SCAT0_COS	
0x0F08	SCAT2_RES1		SCAT2_RES2		SCAT1_COS		SCAT1_SIN	
0x0F00	SCAT3_RES2		SCAT2_COS		SCAT2_SIN		SCAT2_THE	
0x0EF8	SCAT3_COS		SCAT3_SIN		SCAT3_THE		SCAT3_RES1	

注:

- 有双下划线的寄存器为16位快照寄存器，快照寄存器均为动态寄存器，需要使用变量将其值读出；直接读取寄存器将导致读出值不正确。
- 8位单片机读16位寄存器需要分两次读，有可能造成读高8位和低8位时，寄存器的值发生变化，导致读出的值不正确。所以快照寄存器在读高8位时，芯片会将低8位快照，当读低8位时，读的是快照的值，并非实时值。
- 快照寄存器必须先读高8位，再读低8位，而且必须整体读，不能只读高8位或者只读低8位。

## 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 FU6881Q1 QFN40 引脚列表

表 2-1 FU6881Q1 QFN40 脚定义

引脚	FU6881Q1 QFN40	IO 类型	功能描述
P0.0/ TIM4S/ TXD/ LTX	1	DO/ DB/ DO/ DO	GPIO, 可配置外部中断 INTO 输入 功能转移后 Timer4 输入或输出 UART 的 TXD 输出 LIN TXD 输出
P0.1/ TIM4/ TIM3S/ RXD/ LRX	2	DB/ DB/ DB/ DB/ DI	GPIO, 可配置外部中断 INTO/INT1 输入 Timer4 输入或输出 功能转移后 Timer3 输入或输出 UART 在双线制模式下的 RXD 输入或单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 LIN RXD 输入
P0.2/ HAL1S/ TXDS/ SDA	3	DB/ DI/ DO/ DB	GPIO, 可配置外部中断 INTO 输入 功能转移后 Hall-IC1 逻辑电平输入 功能转移后 UART TXD 输出 I <sup>2</sup> C SDA, 可配置为集电极开漏输出
P0.3/ HAL2S/ RXDS/ SCL	4	DB/ DI/ DB DO	GPIO, 可配置外部中断 INTO/INT1 输入 功能转移后 Hall-IC2 逻辑电平输入 功能转移后 UART 在双线制模式下的 RXD 输入或单线制模式下的 TXD 输出 /RXD 输入 I <sup>2</sup> C SCL, 可配置为集电极开漏输出
P0.4/ NSS/ QEPZ/ OLDBG	5	DB/ DB/ DI/ DO	GPIO, 可配置外部中断 INTO 输入 SPI 的选择端口 QEP 过零输入 SPI 单线 debug 输出
P0.5/ HAL1/ SCLK	6	DB/ DI/ DB	GPIO, 可配置外部中断 INT1 输入 Hall-IC1 逻辑电平输入 SPI 接口时钟 SCLK
P0.6/ HAL2/ MOSI	7	DB/ DI/ DB	GPIO, 可配置外部中断 INT1 输入 Hall-IC2 逻辑电平输入 SPI MOSI, 主机输出从机输入端口
P0.7/ MISO/ TIM2S/ QEPA	8	DB/ DB/ DB DI	GPIO, 可配置外部中断 INT1 输入 SPI MISO, 主机输入从机输出端口 Timer2 功能转移后输入或输出 QEP 编码 A 输入

引脚	FU6881Q1 QFN40	IO 类型	功能描述
P1. 2/ TXDS2/ FICED	9	DB/ DO/ DB	GPIO, 可配置外部中断 INT1 输入 功能转移后 UART 的 TXD 输出 FICE 数据端
P1. 7/ RXDS2/  RSTN/ FICEK	10	DI/ DB/  DI/ DI	GPIO 输入, 只可用于输入, 可配置上拉或下拉电阻 功能转移后 UART 在双线制模式下的 RXD 输入或单线制模式下的 TXD 输出/RXD 输入 外部复位输入, 内置上拉电阻 FICE 时钟端
P1. 0/ TIM2/ QEPB	11	DB/ DB/ DI/	GPIO, 可配置外部中断 INTO/INT1 输入, 集电极开漏 Timer2 输入或输出, 集电极开漏 QEP 编码 B 输入, 集电极开漏
P1. 1/ TIM3/ LIN	12	DB/ DI/ DB/	GPIO, 可配置外部中断 INTO/INT1 输入, 集电极开漏 Timer3 功能转移前输入, 集电极开漏 LIN 单线收发端口, 集电极开漏
LINOUT	13	AB	LIN 自动寻址
LIN_VCC	14	P	LIN 电源
CP1	15	AO	电荷泵引脚, 在 CP2 与 CP1 之间接 0.1 $\mu$ F 电容
CP2	16	AO	电荷泵引脚, 在 CP2 与 CP1 之间接 0.1 $\mu$ F 电容
VCP	17	P	电荷泵输出, 对 VCC 接 1 $\mu$ F ~ 4.7 $\mu$ F 电容
DVCC	18	P	Driver 输入电源
DVCC	19	P	Driver 输入电源
W	20	DO	W 相输出
W	21	DO	W 相输出
NC	22	-	NC
VSL	23	DO	下桥地端输出
VSL	24	DO	下桥地端输出
V	25	DO	V 相输出
V	26	DO	V 相输出
VSL	27	DO	下桥地端输出
VSL	28	DO	下桥地端输出
NC	29	-	NC
U	30	DO	U 相输出
U	31	DO	U 相输出
DVCC	32	P	Driver 输入电源
VCC	33	P	电源输入, 6.5V ~ 20V, 外接 1 $\mu$ F 或更大滤波电容
VSS	34	P	地
VDD5	35	P	内部 5V LDO 输出电源, 外接 $\geq$ 1 $\mu$ F 电容
P1. 6/ VREF	36	DB/ AO	GPIO ADC 参考电压外部输入或者内部 VREF 输出, 外接 1 $\mu$ F ~ 4.7 $\mu$ F 电容
SMP	37	AI	母线电流采样输入
P1. 3/ HBIAS/ AD5	38	DB/ DO/ AI	GPIO Hall 偏置电源, 内部通过开关连接 VDD5, 可实现大电流输出 ADC 通道 5 输入
P1. 4/ AD6/ HAL0	39	DB/ AI/ DI	GPIO ADC 通道 6 输入 Hall-IC0 逻辑电平输入

引脚	FU6881Q1 QFN40	IO 类型	功能描述
P1.5/ DBG/ AD7	40	DB/ DO/ AI/	GPIO, 可配置外部中断 INTO 输入 Debug 端口 ADC 通道 7 输入

## 2.2 FU6881Q1 QFN40 引脚图

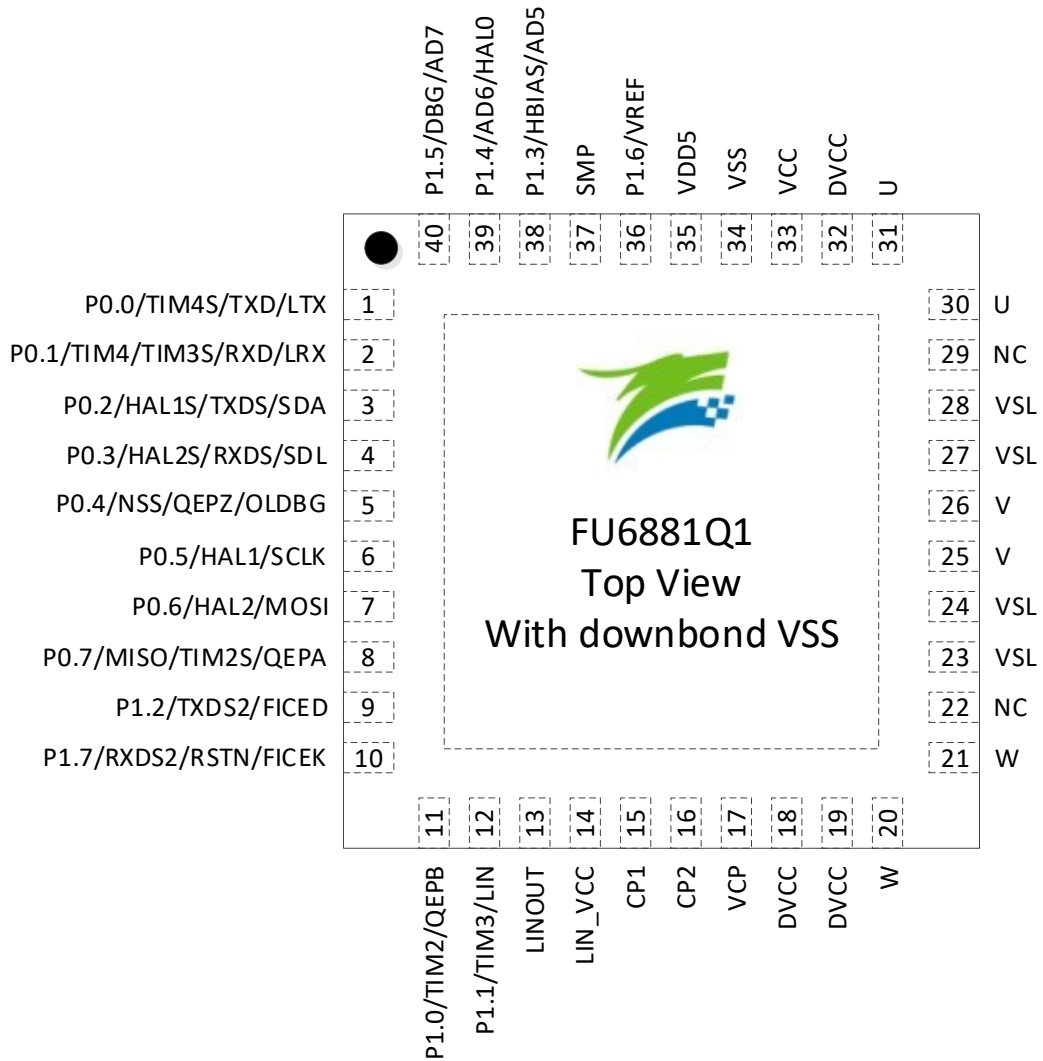


图 2-1 FU6881Q1 QFN40 引脚图

### 3 封装尺寸信息

#### 3.1 FU6881Q1 QFN40\_5X5

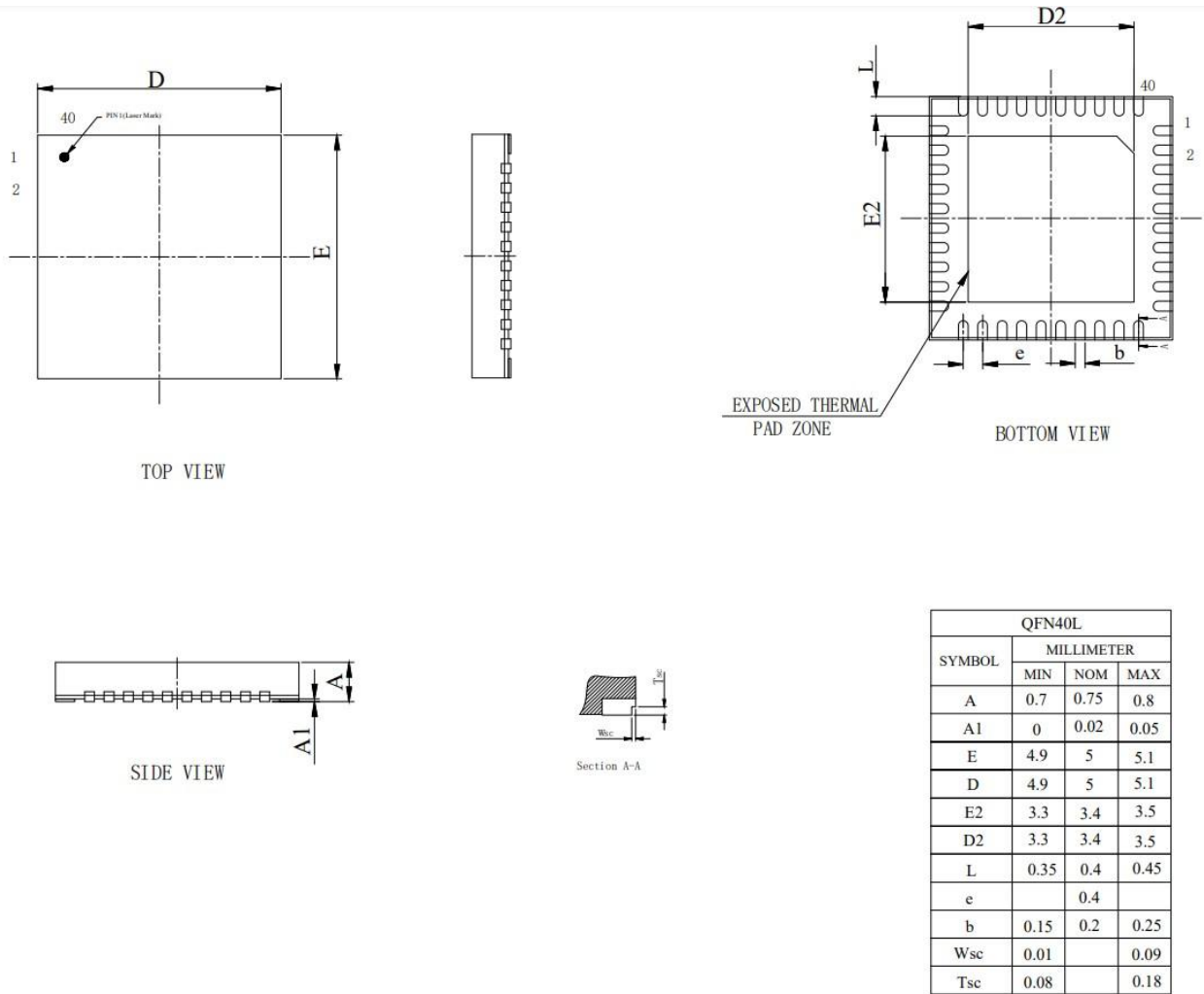


图 3-1 FU6881Q1 QFN40\_5X5 封装尺寸图

**4 订购信息**

表 4-1 产品型号选择

型号	电源电压(V)	Rdson (H+L) (Ω)	主频(MHz)	Flash(kByte)	XRAM(kByte)	时钟电路		驱动类型			I <sup>2</sup> C/UART/SPI/LIN	DMA	GPIO	定时器	模拟外设						无铅	封装	
						内部快时钟	内部慢时钟	方波	FOC	步进					ADC			DAC		VREF			比较器
															个数	通道数	位数	个数	位数				
FU6881Q1	6.5~20	0.25	20	32	3.75	√	√	√	√	√	√	16	6	1	11	12	1	6	√	2	√	QFN40 (5x5mm)	

## 5 电气特性

### 5.1 绝对最大额定值

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	-	150	°C
储存温度 $T_{STG}$		-55	-	150	°C
P1.1、LINOUT	$t < 500ms$	-22	-	40	V
VCC 相对 VSS 的尖峰电压	$t < 60s$	-0.3	-	36	V
VCC 相对 VSS 电压	芯片运行, 关闭 U/V/W 输出	-0.3	-	28	V
VCC 相对 VSS 电压	U/V/W 正常输出	-0.3	-	22	V
U、V、W、CP1 相对 VSS 电压		-0.3	-	VCC + 0.3	V
VCP、CP2 相对 VCC 电压		-0.3	-	VCC + 6.0	V
VSL 相对 VSS 电压		-0.3	-	0.5	V
VDD5 相对 VSS 的电压		-0.3	5	6.5	V
P1.0		-0.3	-	VCC + 0.3	V
RSTN、SMP、GPIO 相对 VSS 的电压	除 P1.0、P1.1、LINOUT	-0.3	-	VDD5 + 0.3	V

注: 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。

### 5.2 全局电气特性

表 5-2 全局电气特性

(除非特别声明,  $T_A = -40^{\circ}C \sim 125^{\circ}C$ , VCC = 6.5V ~ 20V)

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VCC 工作电压 <sup>[1]</sup>	单电源高压模式	6.5	-	20	V
$I_{VCC}$ 工作电流 <sup>[2]</sup>	母线电流平均值	-	-	1	A
相线硬件过流值	$T_A = 125^{\circ}C$	1.6	2.0	2.5	A
$I_{VCC}$ 静态工作电流 <sup>[2]</sup>	所有 MOS 关闭	-	20	-	mA
$I_{VCC}$ 待机电流 <sup>[2]</sup>		-	10	-	mA
$I_{VCC}$ 睡眠电流 <sup>[2]</sup>	$T_A = 25^{\circ}C$	-	30	50	μA
$R_{dson}$ 上侧 MOS + 下侧 MOS		-	0.22	0.4	Ω

注:

[1] 根据不同批次的样品, VCC 电压上升速率范围  $0.5V/\mu s \sim 0.1V/s$

[2] 根据程序运行的设置发生变化

### 5.3 GPIO 电气特性

表 5-3 GPIO 电气特性

 (除非特别声明,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

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	$I_{OH} = 4\text{mA}$ , $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	$V_{DD5} - 0.7$	-	-	V
$V_{OL}$ 输出低电压	$I_{OL} = 4\text{mA}$ , $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	-	-	$V_{SS} + 0.7$	V
$V_{IH}$ 输入高电压 <sup>[1]</sup>		$0.7 \cdot V_{DD5}$	-	-	V
$V_{IL}$ 输入低电压		-	-	$0.2 \cdot V_{DD5}$	V
P1.0 输入高电压	高压模式下	$0.7 \cdot V_{CC}$	-	-	V
P1.0 输入低电压	高压模式下	-	-	$0.2 \cdot V_{CC}$	V
P1.1、LINOUT 输入高电压	LIN 模式下	$0.6 \cdot V_{CC}$	-	-	V
P1.1、LINOUT 输入低电压	LIN 模式下	-	-	$0.4 \cdot V_{CC}$	V
上拉电阻 <sup>[2]</sup>		-	33	-	k $\Omega$
上拉电阻 <sup>[3]</sup>		-	5.6	-	k $\Omega$
下拉电阻 <sup>[4]</sup>		-	33	-	k $\Omega$
下拉电阻 <sup>[5]</sup>		-	50	-	k $\Omega$

注:

 [1] 当  $V_{DD5} = 5\text{V}$  时,  $V_{IH}$  最小值可以为  $0.6 \cdot V_{DD5}$ 

[2] P0[4]、P0[7]、P1[3:2]、P1[7:5]

[3] P0[3:0]、P0[6:5]、P1[4]

[4] P1[7]

[5] P0[1]

### 5.4 ADC 电气特性

表 5-4 ADC 电气特性

 (除非特别声明,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

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)	$f_{IN} = 350\text{kHz}$	-	70.8	-	dB
ENOB (有效位数)	$f_{IN} = 350\text{kHz}$	-	10.5	-	Bit
SFDR (无杂散动态范围)	$f_{IN} = 350\text{kHz}$	-	68.2	-	dB

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
THD(总谐波失真)	$f_{IN} = 350\text{kHz}$	-	67	-	dB
$R_{IN}$ 输入电阻		-	800	-	$\Omega$
$C_{IN}$ 输入电容		-	30	-	pF
转换时间		-	13	-	ADCLK <sup>[1]</sup>
采样时间		3	-	63	ADCLK2 <sup>[2]</sup>

注:

[1] ADCLK = 20MHz

[2] ADCLK2 = 10MHz

## 5.5 参考电压电气特性

表 5-5 参考电压电气特性

(除非特别声明,  $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VREF	VREF_CR[V RVSEL] = 00	4.3	4.5	4.7	V
	VREF_CR[V RVSEL] = 01	4.8	VDD5	5.2	V
	VREF_CR[V RVSEL] = 10	2.8	3	3.2	V
	VREF_CR[V RVSEL] = 11	3.8	4	4.2	V

## 5.6 运算放大器电气特性

表 5-6 运算放大器电气特性

(除非特别声明,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{ICMR}$ 共模输入范围		0	-	VDD5 - 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	-	V/ $\mu\text{s}$
运放放大倍数 <sup>[1]</sup>	AMP_CR1[AMP_GAIN] = 00	7.5	8	8.5	-
	AMP_CR1[AMP_GAIN] = 01	11	12	13	-
	AMP_CR1[AMP_GAIN] = 10	15	16	17	-
	AMP_CR1[AMP_GAIN] = 11	18.5	20	21.5	-

注:

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

## 5.7 OSC 电气特性

表 5-7 OSC 电气特性

 (除非特别声明,  $T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
系统时钟频率		19.5	20	20.5	MHz
低速时钟频率		29	32.8	37	kHz

 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 20MHz。

除非特别声明, 后续引用到 T 与 SYSCLK 均与此同。

## 5.8 复位电气特性

表 5-8 复位电气特性

 (除非特别声明,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

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	-	-	$\mu\text{s}$
VDD5 低电压复位电压	复位电压选择 LVR = 3.0V	2.8	3.0	3.2	V

## 5.9 LDO 电气特性

表 5-9 LDO 电气特性

 (除非特别声明,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.5\text{V} \sim 20\text{V}$ )

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VDD5 电压	$T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$	4.8	5	5.2	V

## 5.10 LIN 电气特性

表 5-10 LIN 电气特性

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{\text{BAT}}_{\text{LIN}}$ 控制器工作电压		8	-	18	V
$V_{\text{BUS\_MAX\_RATING}}$ 总线最大额定电压		-27	-	40	V
$V_{\text{SUP\_NON\_OP}}$ LIN P1.1 不被损坏的供电电压	不保证正确操作	-0.3	-	40	V
$I_{\text{BUS\_LIM}}$ 驱动器主导状态下的电流限制		40	-	200	mA
$I_{\text{BUS\_PAS\_dom}}$ 输入泄漏电流	$V_{\text{BUS}} = 0\text{V}$ , $V_{\text{BAT}} = 12\text{V}$	-1	-	-	mA

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{BUS\_PAS\_rec}$ 驱动器关闭时的电流	$8V < V_{BAT} < 18V,$ $8V < V_{BUS} < 18V,$ $V_{BUS} \geq V_{BAT}$	-	-	20	$\mu A$
$I_{BUS\_NO\_GND}$ 控制单元断开地线连接时的电流	$V_{SS} = V_{CC} = 12V,$ $0V < V_{BUS} < 18V$	-1	-	1	$mA$
$I_{BUS\_NO\_BAT}$ $V_{BAT}$ 断开时的电流	$V_{CC} = V_{SS} = 0V,$ $0 < V_{BUS} < 18V$	-	-	100	$\mu A$
$V_{BUS\_dom}$ 总线电平 接收显性状态电平		-	-	0.4	VCC
$V_{BUS\_rec}$ 总线电平 接收隐性状态电平		0.6	-	-	VCC
$V_{BUS\_CNT}$ 总线中间电平阈值	$V_{BUS\_CNT} = (V_{th\_dom} + V_{th\_rec}) / 2$	0.475	0.5	0.525	VCC
$V_{HYS}$ 接收滞回阈值	$V_{HYS} = V_{th\_rec} - V_{th\_dom}$	-	-	0.175	VCC
D1 占空比 1	传输速率 = 20.0kbps, $V_{SUP} = 7.0V \sim 18V;$ $t_{BIT} = 50\mu s;$ $TH_{Rec(max)} = 0.744 * V_{SUP};$ $TH_{Dom(max)} = 0.581 * V_{SUP};$ $D1 = t_{Bus\_rec(min)} / (2 * t_{BIT})$	0.396	-	-	%
D2 占空比 2	传输速率 = 20.0kbps, $V_{SUP} = 7.6V \sim 18V;$ $t_{BIT} = 50\mu s;$ $TH_{Rec(min)} = 0.422 * V_{SUP};$ $TH_{Dom(min)} = 0.284 * V_{SUP};$ $D2 = t_{Bus\_rec(max)} / (2 * t_{BIT})$	-	0.581	-	%
D3 占空比 3	传输速率 = 10.4kbps, $V_{SUP} = 7.0V \sim 18V;$ $t_{BIT} = 96\mu s;$ $TH_{Rec(max)} = 0.778 * V_{SUP};$ $TH_{Dom(max)} = 0.616 * V_{SUP};$ $D3 = t_{Bus\_rec(min)} / (2 * t_{BIT})$	0.417	-	-	%
D4 占空比 4	传输速率 = 10.4kbps, $V_{SUP} = 7.6V \sim 18V;$ $t_{BIT} = 96\mu s;$ $TH_{Rec(min)} = 0.389 * V_{SUP};$ $TH_{Dom(min)} = 0.251 * V_{SUP};$ $D4 = t_{Bus\_rec(max)} / (2 * t_{BIT})$	-	0.59	-	%
$t_{rx\_pd}$ 接收延迟		-	-	6	$\mu s$
$t_{rx\_sym}$ 接收传输延迟上升沿与下降沿对称性		-2	-	2	$\mu s$
$C_{SLAVE}$ 从节点的电容		-	250	-	pF
$R_{SLAVE}$ 从节点串联的上拉电阻		20	30	60	$k\Omega$

## 5.11 封装热阻

表 5-11 QFN40 封装热阻

参数	条件	值	单位
$\theta_{JA}$ 芯片结温相对环境温度 <sup>[1]</sup>	JEDEC 标准, 2S2P PCB	40	°C/W
	JEDEC 标准, 1S0P PCB	60	°C/W
$\theta_{JC}$ 芯片结温相对封装表面温度 <sup>[1]</sup>	JEDEC 标准, 2S2P PCB	15	°C/W

注:

[1] 实际应用条件不同, 会与测试结果有所出入

## 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(SOFTR)

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\_SR[RSTCLR]置1，以清除RST\_SR[7:3]&RST\_SR[0]的复位标志位。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 管脚为低，且超过 50 $\mu$ 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 VCC 进行监测，如 VCC 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，软件在程序中不断喂狗对看门狗定时器清 0。当程序跑飞，看门狗定时器溢出引发芯片复位。

## 6.6 RSTFED 复位

Flash 操作模块提供了 MOVX 指令，软件可进行自写、自擦除以及读取 Flash 的功能。当对最后一个扇区(0x7F00 ~ 0x7FFF)进行自擦除或对最后一个字节(0x7FFF)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\_SR[SOFTR] = 1，芯片立刻复位，复位后 RST\_SR[SOFTR]标志位被置 1。

## 6.9 复位寄存器

### 6.9.1 RST\_SR (0xC9)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSTPOW/ RSTCLR	RSTEXT	RSTLVD	RSV	RSTWDT	RSTFED	RSTDBG	SOFTR
类型	R/W1	R	R	-	R	R	R	R/W1
复位值	-	-	-	-	-	-	-	-
位	名称	描述						
[7]	RSTPOW/ RSTCLR	上电复位标志位 读： 0: 上次复位不是来自上电复位 1: 上次复位来自上电复位 写： 0: 无意义 1: 清 RST_SR[7:3]&RST_SR[0] 的复位标志位						
[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]	SOFTR	软复位标志位 读： 0: 上次复位不是来自软复位 1: 上次复位来自软复位 写： 0: 无意义 1: 触发软复位						

## 7 中断

### 7.1 中断简介

芯片内部有 16 个中断源。中断源有四级优先级，可通过 IP0 ~ IP3 寄存器进行设置。中断标志位分布在 SFR 或 XSFR 内。当内部电路或者外部信号满足中断条件时，相应的中断标志位硬件置 1。当 IE[EA] = 1 且中断使能位和标志位均为 1 时，向 CPU 发出中断请求。如果没有更高优先级的中断子程序正在执行，则进入中断开始执行该中断子程序。

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 ~ 3 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

IE[EA]是全局中断使能位，IE[EA] = 0 时不响应任何中断请求。

通过设置 SFR 或 XSFR 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 2 个中断源 INT0 和 INT1。INT0 和 INT1 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 P1.5、P1.1 ~ P1.0、P0.4 ~ P0.0 的数字输入信号，可以作为外部中断 INT0 的中断触发源。中断触发源通过 LVSR[EXT0CFG]选择。这些中断触发源共用一个中断入口，一个中断标志位 TCON[IF0]，一个中断使能位 IE[EX0]。中断触发电平由 TCON[IT0]选择。优先级在 IP0[PX0]中设定。

端口 P0.7 ~ P0.5、P0.1、P0.3、P1.2 ~ P1.0 的数字输入信号可以作为外部中断 INT1 的中断触发源。中断标志位为 EXT1\_IF，中断使能位为 EXT1\_IE，每一个中断触发源都对应一个中断标志位和中断使能位。外部中断 INT1 可以选择多个中断触发源，在中断子程序内通过 EXT1\_IF 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 IE[EX1]。配置外部中断 INT1 使能

先配置 IE[EX1] = 1，再配置对应的中断源使能位。中断触发电平由 TCON[IT1]选择。优先级在 IPO[PX1]中设定。外部中断 INT1 中断标志寄存器和中断使能寄存器，详见 7.5.7 ETX1\_IE (0xD1)~7.5.8 EXT1\_IF (0xD2)寄存器表。

## 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	0x0000	无	否	一直使能	最高
LVW 中断 TSD	0	0x0003	INT_SR3[0] INT_SR3[6]	是	CCFG1[6] IE[1]	IP0[1:0]
外部中断 INT0	1	0x000B	INT_SR4[1]	是	IE[0]	IP0[3:2]
外部中断 INT1	2	0x0013	EXT1_IF	是	IE[2]	IP0[5:4]
DRV 比较匹配中断	3	0x001B	INT_SR2[4] INT_SR2[3]	是	DRV_CR1[3] DRV_CR1[2:0]	IP0[7:6]
Timer2 中断	4	0x0023	INT_SR2[2:0]	是	TIM2_CR1[4:3] TIM2_CRO[3]	IP1[1:0]
Timer1 中断	5	0x002B	INT_SR0[6:0]	是	TIM1_CR5[7] TIM1_IER[5:0]	IP1[3:2]
ADC 中断	6	0x0033	INT_SR4[0]	是	ADC_CR[1]	IP1[5:4]
CMP0/1/2 中断 Hall 中断	7	0x003B	INT_SR3[3:1] INT_SR3[5]	是	CMP_CRO[5:0] HALL_CR[6]	IP1[7:6]
RTC	8	0x0043	INT_SR2[6]	是	IE[6]	IP2[1:0]
Timer3 中断	9	0x004B	INT_SR1[2:0]	是	TIM3_CR1[4:3] TIM3_CRO[3]	IP2[3:2]
Systick 中断	10	0x0053	INT_SR2[5]	是	SYST_CR[1:0]	IP2[5:4]
Timer4 中断	11	0x005B	INT_SR1[5:3]	是	TIM4_CR1[4:3] TIM4_CRO[3]	IP2[7:6]
CMP3 中断 OVP 中断 OCP 中断	12	0x0063	INT_SR3[4] INT_SR4[7] INT_SR4[6]	是	CMP_CRO[7:6] OVCP_CR[5] OVCP_CR[1]	IP3[1:0]
I <sup>2</sup> C 中断 UART 中断	13	0x006B	INT_SR5[0] UT_CR[1:0]	是	I2C_CR[0] IE[4]	IP3[3:2]
SPI 中断 LIN 中断	14	0x0073	INT_SR5[4:1] INT_SR6[4:0]	是	IE[3] LIN_CR[3]	IP3[5:4]
DMA 中断	15	0x007B	INT_SR4[3:2]	是	DMA0_CRO[2] DMA1_CRO[0]	IP3[7:6]

注:

- 对于 UT\_CR[RI]、UT\_CR[TI]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。
- 对于含有多个中断事件标志位的寄存器，为防止操作寄存器失误把中断事件标志位清 0，对不操作的中断事件标志位写 1。以 INT\_SR2 为例，对于 INT\_SR2[SYSTIF]的软件清 0，为避免 INT\_SR2[DCIF]误清 0，使用语句 INT\_SR2 = (INT\_SR2&0xDF) | 0x08。

## 7.5 中断寄存器

### 7.5.1 IE (0xA8)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	EA	RTCIE	RSV	ESO	SPIIE	EX1	TSDIE	EXO
类型	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	-	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	EA	全局中断使能 0: 不使能 1: 使能
[6]	RTCIE	RTC 中断使能 0: 不使能 1: 使能
[5]	RSV	保留
[4]	ESO	UART 中断使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	SPIIE	SPI 中断使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	EX1	外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	TSDIE	TSD 中断使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	EXO	外部中断 INTO 使能 0: 不使能 1: 使能

### 7.5.2 IP0 (0x8A)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PDRV		PX1		PX0		PLVW_TSD	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7:6]	PDRV	DRV 比较匹配中断优先级设定
[5:4]	PX1	外部中断 INT1 优先级设定
[3:2]	PX0	外部中断 INTO 优先级设定
[1:0]	PLVW_TSD	LVW/TSD 中断优先级设定

注: 中断优先级设定值从 0 ~ 3 依次表示优先级从低到高, 共 4 级。

### 7.5.3 IP1 (0x8B)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PCMP_HALL		PADC		PTIM1		PTIM2	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	PCMP_HALL	CMP0/1/2、Hall 中断优先级设定						
[5:4]	PADC	ADC 中断优先级设定						
[3:2]	PTIM1	Timer1 中断优先级设定						
[1:0]	PTIM2	Timer2 中断优先级设定						

注: 中断优先级设定值从 0 ~ 3 依次表示优先级从低到高, 共 4 级。

### 7.5.4 IP2 (0x8C)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PTIM4		PSYSTICK		PTIM3		PRTC	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	PTIM4	Timer4 中断优先级设定						
[5:4]	PSYSTICK	Systick 中断优先级设定						
[3:2]	PTIM3	Timer3 中断优先级设定						
[1:0]	PRTC	RTC 中断优先级设定						

注: 中断优先级设定值从 0 ~ 3 依次表示优先级从低到高, 共 4 级。

### 7.5.5 IP3 (0x8D)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PDMA		PSPI_LIN		PI2C_UART		PCMP3_OVP_OCP	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	PDMA	DMA 中断优先级设定						
[5:4]	PSPI_LIN	SPI/LIN 中断优先级设定						
[3:2]	PI2C_UART	I <sup>2</sup> C/UART 中断优先级设定						
[1:0]	PCMP3_OVP_OCP	CMP3/OVP/OCP 中断优先级设定						

注: 中断优先级设定值从 0 ~ 3 依次表示优先级从低到高, 共 4 级。

### 7.5.6 TCON (0x88)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV			IT1		RSV	ITO	
类型	-	-	-	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	-	-	-	0	0	-	0	0
位	名称	描述						

[7:5]	RSV	保留
[4:3]	IT1	外部中断 INT1 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
[2]	RSV	保留
[1:0]	IT0	外部中断 INT0 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

### 7.5.7 ETX1\_IE (0xD1)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P07_IE	P06_IE	P05_IE	P01_IE	P03_IE	P12_IE	P11_IE	P10_IE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	P07_IE	P0.7 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	P06_IE	P0.6 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[5]	P05_IE	P0.5 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[4]	P01_IE	P0.1 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[3]	P03_IE	P0.3 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[2]	P12_IE	P1.2 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[1]	P11_IE	P1.1 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[0]	P10_IE	P1.0 端口外部中断 INT1 使能 0: 不使能 1: 使能						

### 7.5.8 EXT1\_IF (0xD2)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P07_IF	P06_IF	P05_IF	P01_IF	P03_IF	P12_IF	P11_IF	P10_IF
类型	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	P07_IF	P0.7 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[6]	P06_IF	P0.6 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[5]	P05_IF	P0.5 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[4]	P01_IF	P0.1 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[3]	P03_IF	P0.3 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[2]	P12_IF	P1.2 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[1]	P11_IF	P1.1 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件
[0]	P10_IF	P1.0 端口外部中断标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件

### 7.5.9 INT\_SR0 (0xF2)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	T1ABDIF	T1ADIF	T1BOIF	T1ROIF	T1WTIF	T1PDIF	T1BDIF
类型	-	R/W0	R/W0	R/W0	R/W0	R/W0	R/W0	R/W0
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	RSV	保留
[6]	T1ABDIF	自适应续流屏蔽中断标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[5]	T1ADIF	ADC 位置检测中断事件标志位 当 ADC 位置检测信号与 TIM1_DBRx[T1CPE]相同时产生位置检测中断 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]	T1BOIF	基本计数器上溢中断事件标志位 基本计数器向上计数时，当 TIM1_BCNT 计数器的值与 TIM1_BARR 寄存器的值比较匹配时，发生上溢事件 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]	T1ROIF	重载计数器上溢中断事件标志位 当 TIM1_RCNT 与 TIM1_RARR 比较匹配时，发生上溢事件，TIM1_RCNT 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
[2]	T1WTIF	写入时序中断事件标志位 当 TIM1_DBRx 传输到 DRV_CM 时，产生写入时序中断 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]	T1PDIF	CMP/GPIO 位置检测中断事件标志位 当 CMP/GPIO 位置检测信号与 TIM1_DBRx[T1CPE] 相同时产生位置检测中断 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]	T1BDIF	屏蔽续流结束中断事件标志位 换相后开始屏蔽续流时间，屏蔽结束时产生中断 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 INT\_SR1 (0xF3)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		T4IR	T4IP	T4IF	T3IR	T3IP	T3IF
类型	-	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						

[5]	T4IR	Timer4 比较匹配/脉宽检测中断标志位 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 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]	T4IP	Timer4 周期检测中断标志位 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 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]	T4IF	Timer4 计数上溢中断标志位 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 TIM4_CNTR 与比较值 TIM4_ARR 匹配时置 1。 输入捕获模式：基本计数器上溢中断事件标志位，Timer 尚未检测输入的 PWM 周期而基本计数器 TIM4_CNTR 已经累加到 0xFFFF 时置 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]	T3IR	Timer3 比较匹配/脉宽检测中断标志位 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 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]	T3IP	Timer3 周期检测中断标志位 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 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]	T3IF	Timer3 计数上溢中断标志位 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 TIM3_CNTR 与比较值 TIM3_ARR 匹配时置 1。 输入捕获模式：基本计数器上溢中断事件标志位，Timer 尚未检测输入的 PWM 周期而基本计数器 TIM3_CNTR 已经累加到 0xFFFF 时置 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
--	--	---

### 7.5.11 INT\_SR2 (0xF4)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	RTC_IF	SYSTIF	FGIF	DCIF	T2IR	T2IP	T2IF
类型	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	RSV	保留
[6]	RTC_IF	RTC 中断事件标志位 计数器值等于 RTC_TM 时置 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]	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
[4]	FGIF	FG 中断事件标志位 FOC 驱动/方波驱动时, 每转一圈(电周期), 产生一次 FGIF 中断 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]	DCIF	Driver 比较匹配中断事件标志位 当 Driver 计数值等于 DRV_COMR 时, 根据 DRV_SR[DCIM] 设置的计数方向判断是否产生中断 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]	T2IR	Timer2 比较匹配/脉宽检测/QEP 机械零点 Z 信号中断标志位 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 模式: 编码器机械零点 Z 信号中断事件标志位 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]	T2IP	Timer2 周期检测/计数匹配/有效沿检测中断标志位 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&RSD 模式&步进模式: 输入有效边沿检测中断事件标志位 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]	T2IF	Timer2 计数上溢中断标志位 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 TIM2_CNTR 与比较值 TIM2_ARR 匹配时置 1。 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 TIM2_CNTR 累加到 0xFFFF 时置 1。 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 TIM2_DR 的值, 而基本计数器的值 TIM2_CNTR 累加到 0xFFFF 时置 1。 QEP&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。 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义

### 7.5.12 INT\_SR3 (0xF5)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	TSDIF	HALL_IF	CMP3IF	CMP2IF	CMP1IF	CMPOIF	LVWIF
类型	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	TSDIF	TSD 中断事件标志位 当检测到芯片曾经超过设定温度时, 该位硬件置 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  注: 此标志位常与过温状态位 LVSR[TSDIF] 配合使用						
[5]	HALL_IF	Hall 中断事件标志位 读: 0: 没有 Hall 信号沿变化 1: 有 Hall 沿变化						

		写: 0: 清 0 1: 无意义
[4]	CMP3IF	CMP3 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
[3]	CMP2IF	CMP2 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
[2]	CMP1IF	CMP1 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]	CMPOIF	CMPO 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]	LVWIF	VCC 低电压中断事件标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义 注: 当低电压检测中断不使能, 该位不会硬件置 1

### 7.5.13 INT\_SR4 (0xF6)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	OVPIF	OCPIF	RSV		DMA1IF	DMA0IF	IFO	ADCIF
类型	R/WO	R/WO	-	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	0	0	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	OVPIF	过压保护中断标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件						

		写: 0: 清 0 1: 无意义
[6]	OCPIF	过流保护中断标志位 读: 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 写: 0: 清 0 1: 无意义
[5:4]	RSV	保留
[3]	DMA1IF	DMA 通道 1 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
[2]	DMA0IF	DMA 通道 0 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]	IFO	外部中断 INTO 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]	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

#### 7.5.14 INT\_SR5 (0xF7)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV			SPIIF	WCOL	MODF	RXOVRN	I2CIF
类型	-	-	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R
复位值	-	-	-	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:5]	RSV	保留						
[4]	SPIIF	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						

		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]	WCOL	写冲突中断事件标志位 当 SPI_CR1[TXBMT]为 0 时，写入 SPI_DR，则此位被置 1 此位必须由软件清 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
[2]	MODF	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 (SPI_CR0[NSSIN] = 0, SPI_CR1[SPIMS] = 1 且 SPI_CR1[NSSMOD] = 01) 此位必须由软件清 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
[1]	RXOVRN	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。 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]	I2CIF	I <sup>2</sup> C 中断事件标志位 0: 未发生中断事件 1: 发生中断事件 当 I2C_SR[STR] = 1 时，在主机和从机模式下产生中断 当 I2C_SR[I2CSTP] = 1 时，在从机模式下产生中断

### 7.5.15 INT\_SR6 (0xFA)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV			LINERR	LINWAKEUP	LINIDLE	LINDONE	LINREQ
类型	-	-	-	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO	R/WO
复位值	-	-	-	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:5]	RSV	保留						
[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

## 8 时钟门控

Timer2、Timer3、Timer4、I<sup>2</sup>C、LIN、SPI、UART 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。

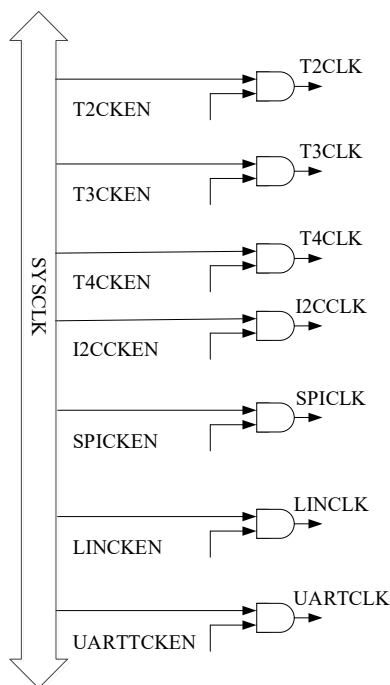


图 8-1 时钟树

### 8.1 时钟门控寄存器

#### 8.1.1 CK\_CR (0x91)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	UARTCKEN	LINCKEN	SPICKEN	I2CCKEN	T4CKEN	T3CKEN	T2CKEN
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	UARTCKEN	UART 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能						
[5]	LINCKEN	LIN 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能						
[4]	SPICKEN	SPI 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能						

[3]	I2CCKEN	I <sup>2</sup> C 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]	T2CKEN	Timer2 模块时钟使能 0: 不使能 1: 使能

## 9 I<sup>2</sup>C

### 9.1 I<sup>2</sup>C 简介

I<sup>2</sup>C 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 I<sup>2</sup>C 设备的通讯，如图 9-1 所示。总线由两根串行线组成: SDA 和 SCL。P0.2 为 SDA 端口，P0.3 为 SCL 端口。I<sup>2</sup>C 使能后，P0.2/P0.3 自动变为开漏电路。

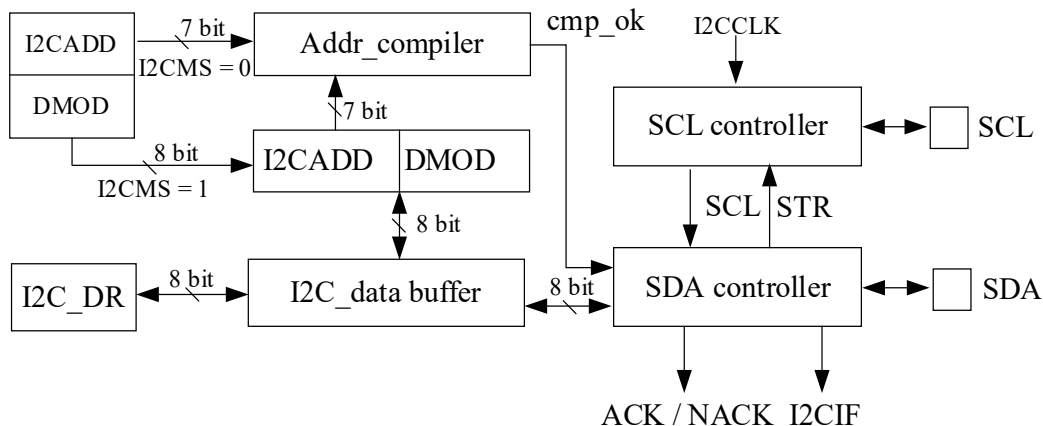


图 9-1 I<sup>2</sup>C 结构框图

主要特性:

- 支持 I<sup>2</sup>C 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 I<sup>2</sup>C 总线空闲后才能控制总线发起 I<sup>2</sup>C 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: 主机首先寻址从器件，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。

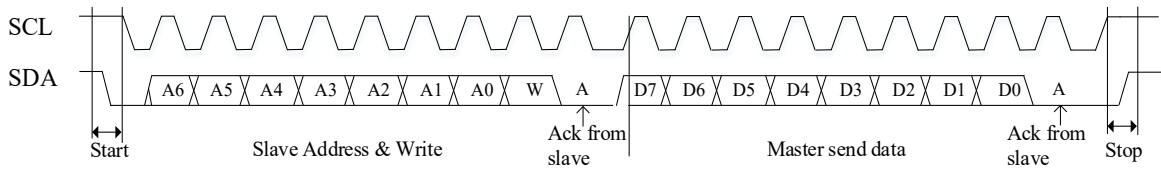


图 9-2 主机向从机发送数据

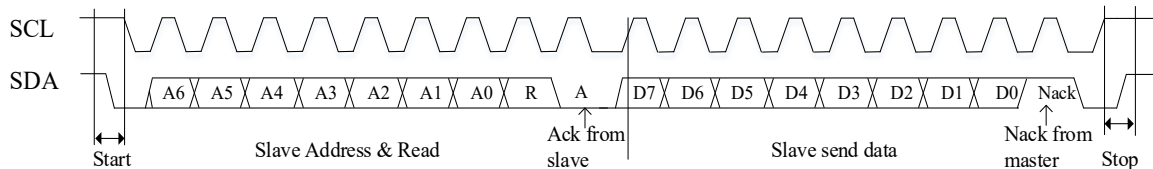


图 9-3 主机接收从机的数据

## 9.2 I<sup>2</sup>C 操作说明

### 9.2.1 主机模式

1. 配置 I2C\_CR[I2CMS] = 1, 设置为主机模式;
2. 配置 I2C\_CR[I2CSPD], 设置时钟 SCL 频率;
3. 配置 I2C\_ID[I2CADD], 设置从机地址;
4. 配置 I2C\_SR[DMOD], 设置读写方向;
5. 配置 I2C\_CR[I2CEN] = 1, 使能 I<sup>2</sup>C;
6. 配置 I2C\_SR[I2CSTA] = 1, 发送 START 和地址, 在接收到 ACK/NACK 后, I2C\_SR[STR] 被硬件置 1, SCL 被主机强制拉低;
7. 发送数据: 通过 I2C\_DR 配置发送数据, 将 I2C\_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, I2C\_SR[STR] 硬件置 1, SCL 被主机强制拉低;
8. 接收数据: 在将 I2C\_SR[STR] 清 0 释放 SCL 后, 主机开始接收数据。当数据接收完毕, I2C\_SR[STR] 硬件置 1, SCL 被主机强制拉低。通过 I2C\_SR[NACK] 设置 ACK/NACK 后, 再向 I2C\_SR[STR] 清 0 释放 SCL 以发送 ACK/NACK 信号。如收到了新数据, I2C\_SR[STR] 硬件置 1, SCL 被主机强制拉低;
9. 停止通讯: 当在 I2C\_SR[STR] = 1 时置位 I2C\_SR[I2CSTP] = 1, I2C\_SR[STR] 复位后发送停止信号。

## 9.2.2 从机模式

1. 配置 I2C\_CR[I2CMS] = 0，设置为从机模式；
2. 配置 I2C\_ID[I2CADD]，设置从机地址；或者配置 I2C\_ID[GC] = 1，使能广播模式；
3. 配置 I2C\_CR[I2CEN] = 1，使能 I<sup>2</sup>C；
4. 接收到 START 信号和正确的地址后，I2C\_SR[I2CSTA]和 I2C\_SR[STR]被硬件置 1，SCL 被从机强制拉低。通过 I2C\_SR[NACK]设置 ACK/NACK，并通过 I2C\_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 I2C\_DR 配置发送数据，将 I2C\_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，I2C\_SR[STR]硬件置 1，SCL 被从机强制拉低；
6. 接收数据: 将 I2C\_SR[STR]清 0 释放 SCL 开始接收数据。当数据接收完成，I2C\_SR[STR]硬件置 1，SCL 被从机强制拉低。通过 I2C\_SR[NACK]设置 ACK/NACK 后，将 I2C\_SR[STR]清 0 释放 SCL 并发送 ACK/NACK。如接收到新的数据，I2C\_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 I<sup>2</sup>C 中断源

I<sup>2</sup>C 的中断源有:

- I2C\_SR[STR] = 1时，该中断源在主机和从机模式下都有效
- I2C\_SR[I2CSTP] = 1时，该中断源只在从机模式下有效

## 9.3 I<sup>2</sup>C 寄存器

### 9.3.1 I2C\_CR (0x4028)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	I2CEN	I2CMS	EROMVDD5PD	I2CDMANAKINT	I2CDMAAUTO	I2CSPD		I2CIE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称		描述					
[7]	I2CEN		I <sup>2</sup> C 使能 使能相应 GPIO 切换为 I <sup>2</sup> C 模式，集电极开漏输出。I <sup>2</sup> 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]	EROMVDD5PD	EEPROM 5V 单独掉电使能 0: EEPROM 5V 供电 1: EEPROM 单独掉电
[4]	I2CDMANAKINT	DMA 传输时忽略 NAK 应答引起的传输中断使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	I2CDMAAUTO	DMA 传输时自动发送第一个数据字节使能 0: 不使能 1: 使能
[2:1]	I2CSPD	I <sup>2</sup> C 传输速率配置, 仅在主机模式下有效 00: 100kHz 01: 400kHz 10: 1MHz 11: 保留
[0]	I2CIE	I <sup>2</sup> C 中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: I <sup>2</sup> C 中断标志位见 INT_SR5 (0xF7)

### 9.3.2 I2C\_ID (0x4029)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	I2CADD							GC
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	0	1	0	1	0	1	0
位	名称	描述						
[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 I2C\_DR (0x402A)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	I2C_DR							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	I2C_DR	I <sup>2</sup> 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 I2C\_SR (0x402B)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	I2CBSY	DMOD	RSV	I2CSTA	I2CSTP	STR	NACK	RSV
类型	R	R/W	-	R/W	R/W	R/WO	R/W	-
复位值	0	0	-	0	0	0	0	-

位	名称	描述															
[7]	I2CBSY	I <sup>2</sup> C 忙状态标志位 当 I2C_CR[I2CEN] = 0 时, I2C_SR[I2CBSY] 硬件清 0 主机模式: 发送 START 成功后, 硬件置 1, 发送 STOP 成功后, 硬件清 0  从机模式: 收到 START 且地址匹配成功后, 硬件置 1, 收到 STOP 后, 硬件清 0															
[6]	DMOD	I <sup>2</sup> C 读写标志位 0: 写模式(主机端发数据, 从机端收数据) 1: 读模式(主机端收数据, 从机端发数据)  注: 从机模式只读															
[5]	RSV	保留															
[4]	I2CSTA	主机模式: 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 I2C_SR[I2CSTA] 写入。在数据发送或接收完毕后置 I2C_SR[I2CSTA] = 1, 发送 RESTART。 0: 非 START 和地址字节 1: 发送 START 或 RESTART 和地址字节  从机模式: 硬件收到 START 且地址字节匹配后置 1, 软件清 0  表 9-1 从机模式 I2C_SR[I2CSTA] 和 I2C_SR[I2CSTP] 与当前 I <sup>2</sup> C 数据类型的关系 <table border="1" data-bbox="491 1093 1350 1312" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>I2CSTA</th> <th>I2CSTP</th> <th>I<sup>2</sup>C 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> 注: 当 I2C_CR[I2CEN] = 0 时, I2C_SR[I2CSTA] 自动清 0	I2CSTA	I2CSTP	I <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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	主机模式: 当 I2C_SR[I2CBSY] = 1 时, 软件才能有效写 1, I2C_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 I2C_SR[I2CSTA] 和 I2C_SR[I2CSTP] 同时写 1, 且 I2C_SR[I2CBSY] = 1, 则 I <sup>2</sup> C 先发送 STOP, 再发 START 和地址字节, START 和地址字节发送完成后 I2C_SR[STR] 硬件置 1。在发送或接收数据的过程中, 禁止 I2C_SR[I2CSTP] 写入。 0: 不发送 STOP 1: 发送 STOP  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  注: 当 I2C_CR[I2CEN] = 0 时, I2C_SR[I2CSTP] 会被硬件自动清 0															
[2]	STR	I <sup>2</sup> C 总线挂起标志位 主机模式: 当硬件发送完 START 加地址字节或 DATA 字节后, I2C_SR[STR] 硬件置 1, 同时 SCL 被拉低, I2C_SR[STR] 软件清 0 后释放 SCL。															

		<p>如果 I2C_SR[I2CSTA]和 I2C_SR[I2CSTP]同为 1，则当硬件发送完 STOP 和 START 加地址字节后，I2C_SR[STR]才会置 1。</p> <p>从机模式： 当硬件接收完 START 且地址匹配或 DATA 字节后，I2C_SR[STR]硬件置 1，同时 SCL 被拉低，I2C_SR[STR]软件清 0 后释放 SCL。</p> <p>注：该位硬件置 1，软件清 0。当 I2C_CR[I2CEN] = 0 时，I2C_SR[STR]自动清 0</p>
[1]	NACK	<p>I<sup>2</sup>C 传输完一个字节后，接收方向发送方的反馈。I2C_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 I2C_SR[NACK]发送 ACK/NACK</p> <p>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 I2C_SR[NACK]接收 ACK/NACK</p> <p>0: 第 9 位收到的是 ACK 1: 第 9 位收到的是 NACK</p>
[0]	RSV	保留

## 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。

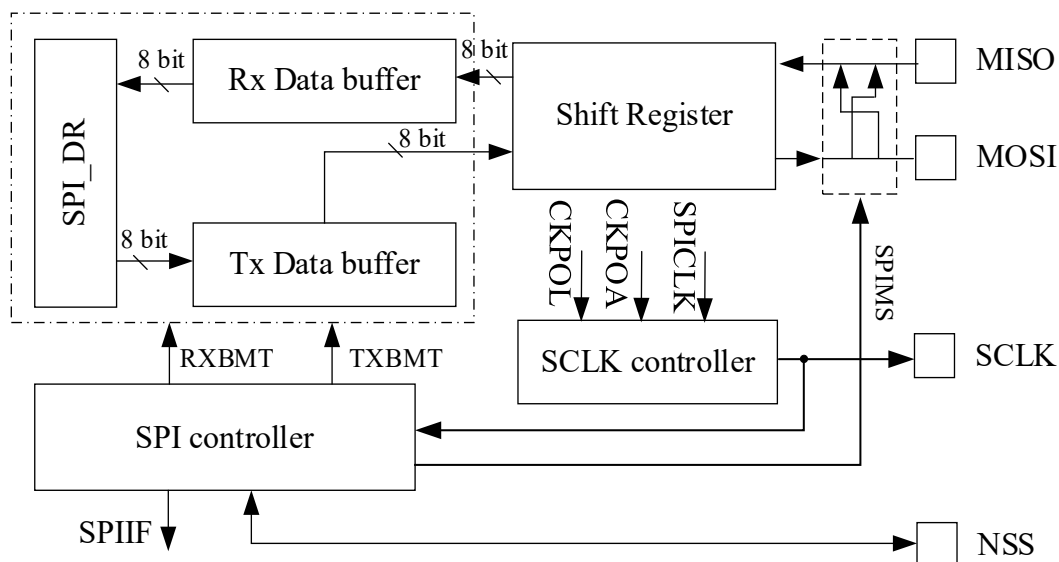


图 10-1 SPI 原理结构框图

### 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。

##### 10.2.1.1 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。

##### 10.2.1.2 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。

### 10.2.1.3 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。

### 10.2.1.4 片选信号(NSS)

片选信号(NSS)的功能通过 SPI\_CR1[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。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 SPI\_CR1[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。

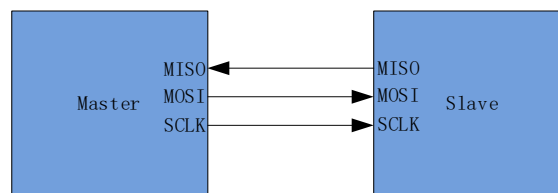


图 10-2 3 线 SPI 模式连接图

配置 SPI\_CR1[NSSMOD] = 01 时，SPI 工作在 4 线从模式或多主模式。在该工作模式，SPI 总线上器件的 NSS 端口均配置为输入，等待主机寻址。配置 SPI\_CR0[SPIMS] = 0，SPI 工作在 4 线从机模式。当 NSS 为逻辑 0 时，从机 SPI 被选通；当 NSS 为逻辑 1 时，从机 SPI 不被选通。配置 SPI\_CR0[SPIMS] = 1，SPI 工作在主机模式，默认为多主模式。在多主工作模式下，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，SPI\_CR0[SPIMS]和 SPI\_CR1[SPIEN] 被硬件清 0，以不使能 SPI，同时方式错误标志 INT\_SR5[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。

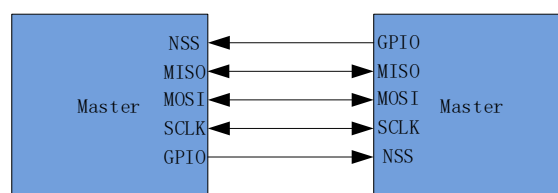


图 10-3 4 线多主机模式连接图

配置  $SPI\_CR1[NSSMOD] = 1X$  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  $SPI\_CR1[NSSMOD0]$  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。

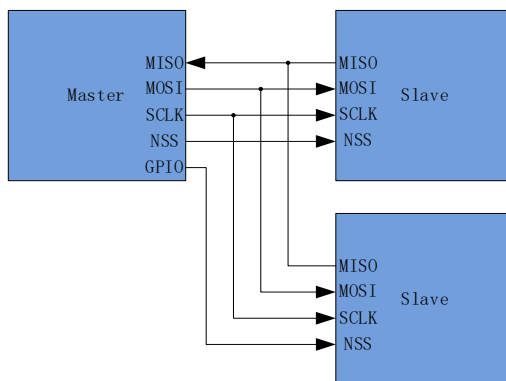


图 10-4 4 线单主机模式连接图

## 10.2.2 SPI 主机模式

配置  $SPI\_CR0[SPIMS] = 1$ , 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  $SPI\_DR$  写入数据时, 该数据首先被写入发送缓冲器,  $SPI\_CR1[TXBMT]$  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  $INT\_SR5[SPIIF]$  和  $SPI\_CR1[TXBMT]$  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 从机可以同时从 MISO 线上向主机发送其移位寄存器中的内容。因此,  $INT\_SR5[SPIIF]$  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  $SPI\_DR$  读取数据为接收缓冲器的数据。如果在  $SPI\_CR1[TXBMT] = 0$  时向  $SPI\_DR$  写入数据, 写冲突标志位  $INT\_SR5[WCOL]$  被置 1, 并保持发送缓冲器中的数据。

### 10.2.2.1 主机模式配置

1. 配置  $SPI\_CR1[NSSMOD]$ , 设置 SPI 工作模式;
2. 配置  $SPI\_CR0[CPOL]$ , 设置时钟极性;
3. 配置  $SPI\_CR0[CPHA]$ , 设置时钟相位;
4. 配置  $SPI\_CR0[SPIMS] = 1$ , 设置为主机模式;
5. 配置  $SPI\_CLK$ , 设置 SCLK 频率;
6. 配置  $SPI\_CR1[SPIEN] = 1$ , 使能 SPI;

7. 向 SPI\_DR 写入要发送的数据，每写一次，SPI 将传输一次；
8. INT\_SR5[SPIIF]被置 1 后，读 SPI\_DR 获取接收到的数据。

### 10.2.3 SPI 从机模式

配置 SPI\_CR0[SPIMS] = 0 时，SPI 工作于从机模式。在该模式下，SPI 的 SCLK 信号将由主机的 SPI 提供，从 MOSI 移入数据，从 MISO 引脚移出数据。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 SPI\_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，INT\_SR5[SPIIF] 和 SPI\_CR1[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 SPI\_CR0[RXBMT]被清 0，表示当前有未读数据。如果 SPI\_CR0[RXBMT] = 0 且此时有新的数据准备送入接收缓冲器，则 INT\_SR5[RXOVRN]将会被置 1，且接收缓冲器中的数据不变。当向 SPI\_DR 写入数据时 SPI\_CR1[TXBMT]被清 0。如果此时再写入数据，写冲突标志位 INT\_SR5[WCOL]被置 1，并保持发送缓冲器中的数据。

#### 10.2.3.1 从机模式配置

1. 配置 SPI\_CR1[NSSMOD]，设置 SPI 工作模式；
2. 配置 SPI\_CR0[CPOL]，设置时钟极性；
3. 配置 SPI\_CR0[CPHA]，设置时钟相位；
4. 配置 SPI\_CR0[SPIMS] = 0，设置为从机模式；
5. 配置 SPI\_CR1[SPIEN] = 1，使能 SPI；
6. 向 SPI\_DR 写入操作数据，等待主机发送时钟信号。

### 10.2.4 SPI 中断源

SPI 的中断源有：

- 每次字节传输结束时，SPI 中断标志 INT\_SR5[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 SPI\_DR，写冲突标志 INT\_SR5[WCOL] 被置 1 且写 SPI\_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 INT\_SR5[MODF] 被置 1。当发生模式错误时，SPI\_CR0[SPIMS] 和 SPI\_CR1[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 INT\_SR5[RXOVRN] 被置 1。新接收的数据将不被传送到接收缓冲器。

## 10.2.5 串行时钟时序

配置 SPI\_CR0 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。SPI\_CR0[CPHA]选择时钟相位(移位寄存器数据跳变时的 SCLK 信号边沿)。SPI\_CR0[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(SPI\_CR1[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 10-5 和图 10-6。

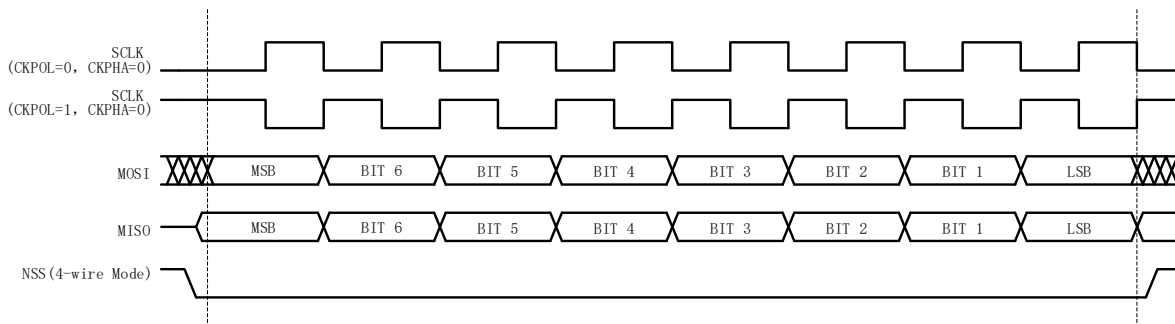


图 10-5 数据/时钟时序图(SPI\_CR0[CPHA] = 0)

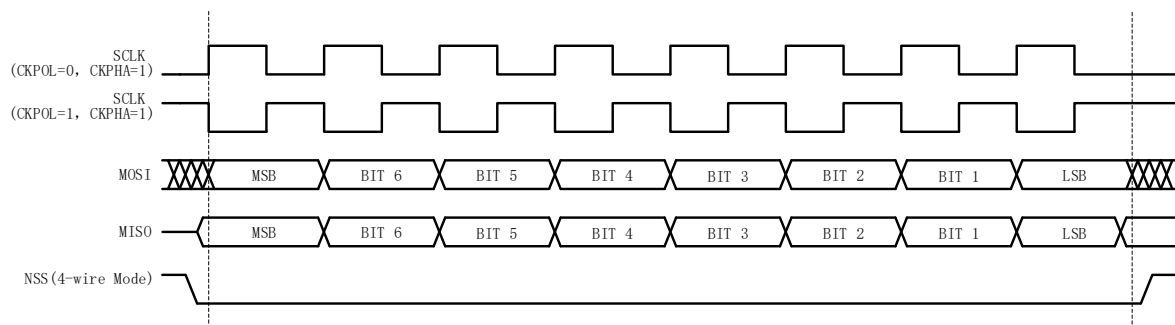


图 10-6 数据/时钟时序图(SPI\_CR0[CPHA] = 1)

## 10.3 SPI 寄存器

### 10.3.1 SPI\_CR0 (0x4030)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SPIBSY	SPIMS	CPHA	CPOL	SLVSEL	NSSIN	SRMT	RXBMT
类型	R	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	1	1	1
位	名称	描述						
[7]	SPIBSY	忙标志位 0: 没有 SPI 传输 1: 正在进行 SPI 传输						
[6]	SPIMS	主/从机设定 0: 从机 1: 主机						

[5]	CPHA	时钟相位 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
[4]	CPOL	时钟空闲电平 0: 低电平为空闲电平 1: 高电平为空闲电平
[3]	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
[2]	NSSIN	NSS 实时信号, 该信号未滤波
[1]	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  注: 在主模式时 SPI_CR0[SRMT] = 1
[0]	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  注: 在主模式时 SPI_CR0[RXBMT] = 1

注:

时钟相位空闲电平模式 SPI\_CR0[CPHA:CPOL]:

- 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

### 10.3.2 SPI\_CR1 (0x4031)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV				NSSMOD		TXBMT	SPIEN
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	1	0
位	名称	描述						
[7:4]	RSV	保留						
[3:2]	NSSMOD	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 SPI_CR1[2] 的值						
[1]	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至移位寄存器						

[0]	SPIEN	SPI 使能 0: 不使能 1: 使能
-----	-------	---------------------------

### 10.3.3 SPI\_CLK (0x4032)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SPI_CLK							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	SPI_CLK	SPI 波特率设置 主机模式有效，仅在 SPI_CR1[SPIEN] = 0 时可写 $\text{波特率} = \text{SPICLK}/2/(\text{SPI\_CLK} + 1)$ 例:波特率 2000kHz, 则 SPI_CLK = (20M/2/2000k) - 1 = 4, 即为 0x04 SPI 主机发送上限波特率: 20M SPI 主机接收上限波特率: 3.33M SPI 从机发送上限波特率: 2M SPI 从机接收上限波特率: 2M						

### 10.3.4 SPI\_DR (0x4033)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SPI_DR							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	SPI_DR	SPI 数据寄存器 SPI_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 UART 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。

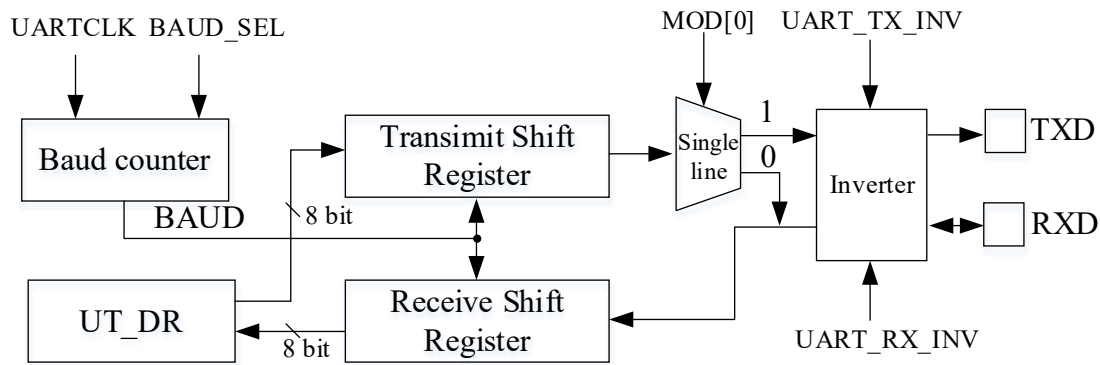


图 11-1 UART 通信模块构造框图

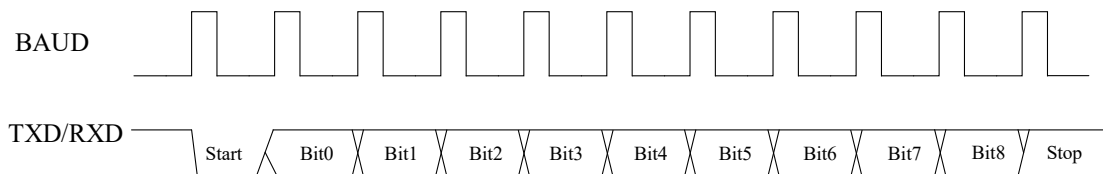


图 11-2 UART 通信时序图

### 11.2 UART 操作说明

在使用 UART 前需确保相关寄存器使能，详细请参考 24.3.7 PH\_SEL (0x404C) [6]位 ~ 24.3.8 PH\_SEL1 (0x404D) [7:6]位描述。

#### 11.2.1 UART 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)，波特率由 UT\_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送的数据写入 UT\_DR 并将 UT\_CR[TI]清 0，RXD 将输出 10 位数据。发送完成后 UT\_CR[TI]置 1。

接收数据: 配置 UT\_CR[REN] = 1 启动接收并将 UT\_CR[RI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UT\_CR[RI]置 1，读取 UT\_DR 会得到接收到的数据。

### 11.2.2 UART 模式 1

模式 1 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 10 位(1 位启动、8 位数据、1 位停止)，波特率由 UT\_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送的数据写入 UT\_DR 并将 UT\_CR[TI]清 0，TXD 将输出 10 位数据。发送完成后 UT\_CR[TI]被置 1。

接收数据: 配置 UT\_CR[REN] = 1 启动接收并将 UT\_CR[RI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UT\_CR[RI]被置 1，读取 UT\_DR 会得到接收到的数据。

### 11.2.3 UART 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)，波特率由 UT\_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送数据前 8 位写入 UT\_DR，第 9 位写入 UT\_CR[TB8]并将 UT\_CR[TI]清 0，TXD 将输出 11 位数据。发送完成后 UT\_CR[TI]被置 1。

接收数据: 配置 UT\_CR[REN] = 1 启动接收并将 UT\_CR[RI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UT\_CR[RI]被置 1，UT\_CR[RB8]存放第 9 位数据，UT\_DR 存放前 8 位的数据。

### 11.2.4 UART 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)，波特率由 UT\_BAUD[BAUD]决定。

发送数据: 将发送数据的前 8 位写入 UT\_DR，第 9 位写入 UT\_CR[TB8]并将 UT\_CR[TI]清 0，TXD 将输出 11 位数据，发送完成后 UT\_CR[TI]被置 1。

接收数据: 配置 UT\_CR[REN] = 1 启动接收并将 UT\_CR[RI]清 0，数据通过 RXD 接收。接收完成后，UT\_CR[RI]被置 1，UT\_CR[RB8]存放第 9 位数据，UT\_DR 存放前 8 位的数据。

### 11.2.5 UART 中断源

UART 中断源有:

- UART 发送完 1 组数据后，发送完成中断事件标志位 UT\_CR[TI] 硬件置 1
- UART 接收完 1 组数据和 STOP 停止位后，接收完成中断事件标志位 UT\_CR[RI] 硬件置 1

## 11.3 UART 寄存器

### 11.3.1 UT\_CR (0x98)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	UT_MOD		SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	UT_MOD	模式配置位 00: 模式 0 01: 模式 1 10: 模式 2 11: 模式 3						
[5]	SM2	单机通信和多机通信选择 0: 单机通信 1: 多机通信						
[4]	REN	串行输入使能 0: 不使能 1: 使能						
[3]	TB8	模式 2 与模式 3 下发送数据的第 9 位						
[2]	RB8	模式 2 与模式 3 下接收数据的第 9 位						
[1]	TI	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]	RI	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						

### 11.3.2 UT\_DR (0x99)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	UT_DR							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	UT_DR	发送/接收数据 读: 接收的数据 写: 发送的数据						

		注：UART 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。
--	--	---

### 11.3.3 UT\_BAUD (0x9A, 0x9B)

UT_BAUDH (0x9B)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	BAUD_SEL	UART_RX_INV	UART_TX_INV	RSV	BAUD[11:8]			
类型	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	-	0	0	0	0
UT_BAUDL (0x9A)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	BAUD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	0	0	0	0	0	0	1
位	名称	描述						
[15]	BAUD_SEL	倍频使能 0: 不使能 1: 使能						
[14]	UART_RX_INV	接收反向使能 0: 不使能 1: 使能						
[13]	UART_TX_INV	发送反向使能 0: 不使能 1: 使能						
[12]	RSV	保留						
[11:0]	BAUD	波特率设置 波特率 = $UARTCLK / (16 / (1 + UT\_BAUD[BAUD])) / (UT\_BAUD[BAUD\_SEL] + 1)$ 例：波特率 9600, $UT\_BAUD[BAUD\_SEL] = 0$ ; 则 $UT\_BAUD[BAUD] = (20M / 16 / 9600 / (1 + 0)) - 1 = 129$ , 即为 0x81						

## 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 符合 ISO 17987 相关测试规范，其中 LIN 内置收发器和 LIN 数据链路层符合 ISO 17987 协议并通过相关测试。如图 12-1 所示，LIN 具有完整的硬件接口，固定工作在从机模式，支持波特率自适应。引脚复用 P0.0/P0.1、P1.0/P1.1(功能转移)，其中 P1.1 为 LIN 单线模式的收发端口；LIN 与 DMA 传输数据，配置 DMAx\_CR0[DMACFG] = 11X，读写方向由 LIN\_CR[LINRW] 决定。

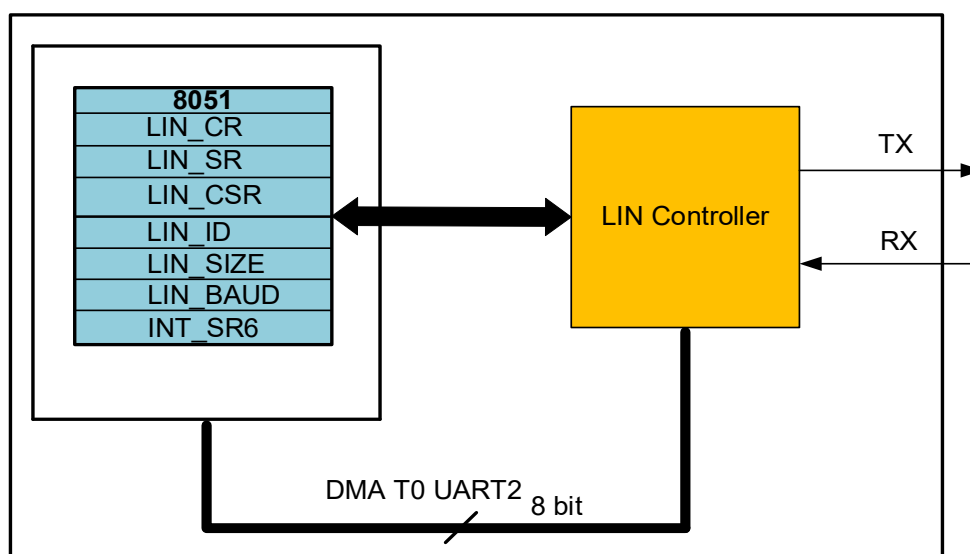


图 12-1 LIN 框图

如图 12-1 所示，LIN 控制器包括三个部分：

- LIN 控制寄存器: 通过 8051 内部的 XSFR 寻址，提供 CPU 与 LIN 控制器之间的接口
- LIN 数据缓存: 通过配置 DMA0/1 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 5 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	INT_SR6[LINIDLE]	INT_SR6[LINIDLE]清 0
外部唤醒	接收到唤醒信号	INT_SR6[LINWAKEUP]	INT_SR6[LINWAKEUP]清 0
接收到帧头	当收到帧头且 ID 校验正确	INT_SR6[LINREQ]	LIN_CSR[LINACK]写 1/ INT_SR6[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	INT_SR6[LINDONE]	LIN_SR[LINDONE]清 0/ 发现新的帧头
出现错误	接收到错误请求: 位错误/格式错误 同步错误 ID 校验错误 数据校验错误	LIN_SR[ERRBIT] LIN_SR[ERRSYNC] LIN_SR[ERRPRTY] LIN_SR[ERRCHK]	INT_SR6[LINERR]清 0/ 发现新的帧头

从机数据传输和接收流程:

1. LIN 控制器检测 LIN 总线上主机发送的消息帧的报头(间隔和同步信号)。通过同步信号自动识别出主机传输数据的波特率。当从机识别到 ID 后, 如果 ID 校验正确, INT\_SR6[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;
2. 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;
3. 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;
4. 从机接收或发送数据完成后, INT\_SR6[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, INT\_SR6[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(INT\_SR6[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, INT\_SR6[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[ERRBIT]、LIN\_SR[ERRSYNC]、LIN\_SR[ERRCHK]和 LIN\_SR[ERRPRTY]来判别

错误为位错误/格式错误、同步错误、数据校验错误或 ID 校验错误。错误处理完成后将 INT\_SR6[LINERR]标志位清 0。

## 12.5 LIN 自动寻址功能

从机 LIN 工作在单线制模式时，可利用 LININ 和 LINOUT 进行 LIN 模块自动寻址。如图 12-2 所示。

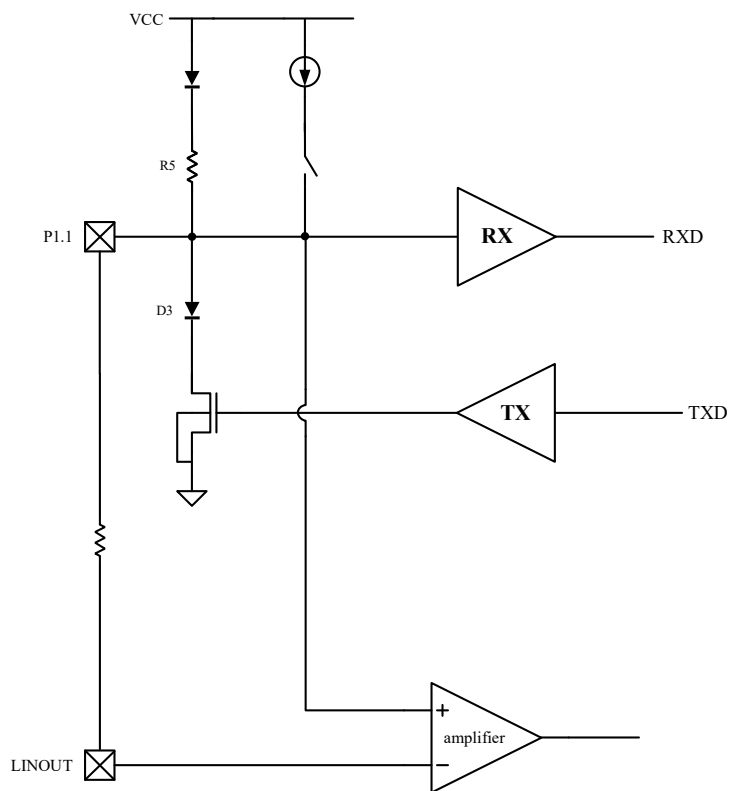


图 12-2 LIN 自动寻址原理框图

LIN 的自动寻址电流源开关时间与波特率相关，不同的主机波特率报文，设置 LIN 模块波特率与主机匹配，保证 LIN 自动寻址的电流源开关动作同步，避免采样出现时序问题。

所有节点在自动寻址前需停止有关 LIN 的所有任务活动，且关闭电机运行。

一个总线寻址过程的具体操作步骤为：

1. 进行自动寻址初始化，所有从节点都需配置  $LIN\_CSR[LINADADR] = 1$ 、 $LIN\_CSR[LINADADR\_CUR] = 1$ 。以确保寻址期间从节点可以关闭上拉电阻和打开电流源。
2. 当主节点发送寻址报文时，从节点将在间隔场期间完成寻址。当寻址成功后， $LIN\_SR[LINADADR\_ISME]$ 会被置 1。用户可据此判断当前节点是否被寻址到。
3. 当寻址成功后，从节点需令  $LIN\_CSR[LINADADR\_CUR]$ 为 0，以确保后继寻址时该节点不在打开电流源。

4. 当所有从节点都完成寻址后，所有从节点都需令 LIN\_CSR[LINADADR]为 0。完成总线的寻址过程。

## 12.6 波特率模式切换

为了契合自动寻址功能和其他模式需要，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 模块采用 20k 频率探测 LIN 总线，当识别到大于 11bit 的间隔场时，进入 LIN 数据接受模式，在同步场段识别到“0x55”的字段后，根据字段长度计算出 LIN 报文的波特率，并根据此波特率进行后续报文的收发动作。

**手动波特率模式：**在使能 LIN 模块以后，将 LIN\_CR[AUTOBAUD]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±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，停止对当前报文的接收。

## 12.7 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)。

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。

## 12.8 LIN 寄存器

### 12.8.1 LIN\_CR (0xB9)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MBAUD	DMASEL	RSV	CHSEL	LINIE	CHKMOD	LINRW	AUTOSIZE
类型	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	-	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[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, 波特率接收范围为配置波特率±10%
[6]	DMASEL	LIN DMA 通道选择 0: 选择 DMA0 1: 选择 DMA1
[5]	RSV	保留
[4]	CHSEL	LIN 模式及端口复用 0: 双线模式, P0.0 为 LTXD、P0.1 为 LRXD 1: 单线模式, P1.1 为 LIN 收发端口
[3]	LINIE	LIN 中断使能 0: 不使能 1: 使能 注: LIN 中断标志位见 INT_SR6 (0xFA)

[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

### 12.8.2 LIN\_SR (0xBA)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	LINADADR_ISME	ERRBIT	ERRSYNC	ERRCHK	ERRPRTY	ABORT	LINACT
类型	-	R	R	R	R	R	R	R
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	LINADADR_ISME	LIN 寻址成功标志位, 自动地址识别模式下, 表明已被选中 0: 未寻址成功 1: 寻址成功						
[5]	ERRBIT	位错误/格式错误, LIN 使能回读功能时, 若 LIN 发送的电平与接收 LIN 总线电平不等时, 该位置 1; 当接收 LIN 总线报文出现格式错误时, 该位置 1 0: 未发生位错误 1: 发生位错误						
[4]	ERRSYNC	同步错误(同步超时或同步过快), 在新帧到来或者 LIN[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						
[3]	ERRCHK	数据校验错误, 在新帧到来或者 LIN_CSR[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						
[2]	ERRPRTY	ID 校验错误, 在新帧到来或者 LIN_CSR[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						
[1]	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 写: 0: 清 0 1: 无意义						

[0]	LINACT	LIN 总线上处于活动状态标志 0: 总线未处于活动状态 1: 总线处于活动状态
-----	--------	--

### 12.8.3 LIN\_CSR (0xBB)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LINADADR_CUR	RDBAKDIS	LINSLP	LINADADR	TXWAKEUP	LINACK	LINSTOP	LINEN
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	W1	W1	W1	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	LINADADR_CUR	LIN 自动寻址的电流源开关。只能在 LIN_CSR[LINADADR]使能后才能操作 0: 不使能 1: 使能
[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]	LINADADR	LIN 自动寻址的总使能。开启后, LIN 的间隔场期间会自动断开上拉电阻 0: 不使能 1: 使能
[3]	TXWAKEUP	LIN 唤醒 写: 0: 清 0 发送唤醒信号(唤醒发送成功后需手动清 0) 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

### 12.8.4 LIN\_ID (0xBC)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		LIN_ID					
类型	-	-	R	R	R	R	R	R
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7:6]	RSV	保留
[5:0]	LIN_ID	LIN 接收到的 ID

### 12.8.5 LIN\_SIZE (0xBD)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV				LIN_SIZE			
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0

位	名称	描述
[7:4]	RSV	保留
[3:0]	LIN_SIZE	接收/发送数据帧长度

### 12.8.6 LIN\_BAUD (0xBF,0xBE)

LIN_BAUDH (0xBF)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LIN_BAUD[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	1	1

LIN_BAUDL (0xBE)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LIN_BAUD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	1	1	0	0	1	1	1

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

## 13 MDU

### 13.1 MDU 简介

MDU 是一个计算协处理单元，可协助 CPU 快速完成复杂运算。MDU 提供乘法、除法、三角函数、低通滤波运算和 PID 运算。MDU 模块可以在不同中断程序和主程序中多次调用且计算结果互不干扰。

### 13.2 MDU 特性

MDU 具有以下特性:

- 支持中断嵌套调用
- 硬件加速，减少 CPU 负担
- 支持以下运算模式
  - 16 位有符号乘法
  - 16 位有符号乘法(运算结果左移 1 位)
  - 16 位无符号乘法
  - 32 位/16 位无符号除法
  - 低通滤波器
  - 坐标转换(sin/cos 计算)
  - 反正切函数
  - PI/PID

### 13.3 MDU 功能说明

#### 13.3.1 操作方法

完整的 MDU 操作流程:

1. 配置 MDU\_CR[MDUMOD]寄存器，选择 MDU 的运算模式;
2. 写入数据到对应计算单元，配置 MDU\_CR[MDUSTA]，选择 MDU 的计算单元，并启动 MDU 计算;
3. 等待 MDU\_CR[MDUBSY]硬件清 0;

注: 在使用 MDU 前，在配置 MDU\_CR[MDUSTA]之前，应确保运算模式和其他数据都已写入完成。

### 13.3.2 运算结果左移 1 位的 16 位有符号乘法

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 000 时，MDU 为运算结果左移 1 位的 16 位有符号乘法。如表 13-1 表 13-1 所示，分别向 MULx\_MA 和 MULx\_MB 写入 16 位有符号数据作为被乘数和乘数。结果为相乘得到的 31 位有符号数据左移一位获得的 32 位有符号数据。该数据通过 MULx\_MC 读取。

表 13-1 运算结果左移 1 位的 16 位有符号乘法模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
MULx_MA	被乘数	-
MULx_MB	乘数	-
MULx_MC	-	乘积

### 13.3.3 16 位有符号乘法

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 001 时，MDU 为 16 位有符号乘法。如表 13-2 所示，分别向 MULx\_MA 和 MULx\_MB 写入 16 位有符号数据作为被乘数和乘数。结果为相乘得到的 31 位有符号数据。该数据通过 MULx\_MC 读取。

表 13-2 16 位有符号乘法模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
MULx_MA	被乘数	-
MULx_MB	乘数	-
MULx_MC	-	乘积

### 13.3.4 16 位无符号乘法

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 010 时，MDU 为 16 位无符号乘法。如表 13-3 所示，分别向 MULx\_MA 和 MULx\_MB 写入 16 位无符号数据作为被乘数和乘数。结果为相乘得到的 32 位无符号数据。该数据通过 MULx\_MC 读取。

表 13-3 16 位无符号乘法模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
MULx_MA	被乘数	-
MULx_MB	乘数	-
MULx_MC	-	乘积

### 13.3.5 32 位/16 位的无符号除法

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 011 时，MDU 为 32 位/16 位的无符号除法。如表 13-4 所示，分别向 DIVx\_DA 和 DIVx\_DB 写入 32 位被除数、16 位除数。结果为相除得到的 32 位无符号的商和 16 位无符号的余数。商通过 DIVx\_DQ 读取，余数通过 DIVx\_DR 读取。

表 13-4 无符号除法模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
DIVx_DA	被除数	-
DIVx_DB	除数	-
DIVx_DQ	-	商
DIVx_DR	-	余数

### 13.3.6 低通滤波器

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 110 时，MDU 为 LPF。

LPF 的计算公式为:

$$Y_k = Y_{k-1} + K \times (X_k - Y_{k-1})$$

其中，

$Y_k$ : 滤波后的数据

$Y_{k-1}$ : 上一次的滤波值

$K$ : 滤波系数

$X_k$ : 待滤波数据

如表 13-5 所示，当前输出值  $Y_k$  和上一次的输出值  $Y_{k-1}$  为 32 位有符号数据，输入值  $X_k$  为 16 位有符号数据，滤波系数  $K$  为 16 位有符号数据。LPFx\_Y 写入  $Y_{k-1}$ ，LPFx\_K 写入  $K$ ，LPFx\_X 写入  $X_k$ 。运算结果为  $Y_k$  通过 LFPx\_Y 读取。

表 13-5 LPF 模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
LFPx_X	$X_k$	-
LFPx_K	$K$	-
LFPx_Y	$Y_{k-1}$	$Y_k$

### 13.3.7 坐标转换(sin/cos 计算)

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 100 时，MDU 为坐标转换。如图 13-1，坐标转换将向量 A 在  $x-y$  轴下的分量  $\cos_i$ 、 $\sin_i$  转换为在  $x'-y'$  轴下的分量  $\cos_o$ 、 $\sin_o$ ， $x'-y'$  轴滞后  $x-y$  轴  $\theta$  角度。

坐标转换的计算公式为:

$$\cos_o = \cos_i \times \cos \theta - \sin_i \times \sin \theta$$

$$\sin_o = \cos_i \times \sin \theta + \sin_i \times \cos \theta$$

特别的，当  $\sin_i$  为 0 时，坐标转换变成了以  $\cos_i$  为幅值的正余弦计算，计算公式为：

$$\cos_o = \cos_i \times \cos \theta$$

$$\sin_o = \cos_i \times \sin \theta$$

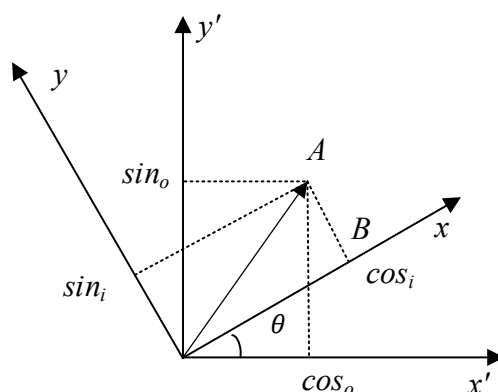


图 13-1 坐标变换

如表 13-6 所示，输入值  $\cos_i$ 、 $\sin_i$ 、 $\theta$  和输出值  $\cos_o$ 、 $\sin_o$  均为 16 位有符号数据。向 SCATx\_COS 写入  $\cos_i$ ，SCATx\_SIN 写入  $\sin_i$ ，SCATx\_THE 写入  $\theta$ ，计算得到  $\cos_o$  和  $\sin_o$ 。 $\cos_o$  通过 SCATx\_RES1 读取， $\sin_o$  通过 SCATx\_RES2 读取。

表 13-6 坐标转换模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
SCATx_COS	$\cos_i$	-
SCATx_SIN	$\sin_i$	-
SCATx_THE	$\theta$	-
SCATx_RES1	-	$\cos_o$
SCATx_RES2	-	$\sin_o$

### 13.3.8 反正切函数

当 MDU\_CR[MDUMOD] = 101 时，MDU 为反正切函数。

反正切函数运算根据输入的正余弦值计算出向量的幅值和角度。计算公式为

$$U = \sqrt{(U \sin \theta)^2 + (U \cos \theta)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{U \sin \theta}{U \cos \theta} \right)$$

其中，

$U\sin\theta$ : 向量的正弦分量

$U\cos\theta$ : 向量的余弦分量

$\theta$ : 计算出的向量角度

$U$ : 计算出的向量幅值

如表 13-7 所示，输入值  $U\cos\theta$ 、 $U\sin\theta$  和输出值  $U$ 、 $\theta$  均为 16 位有符号数据。向 SCATx\_COS 写入  $U\cos\theta$ ，SCATx\_SIN 写入  $U\sin\theta$ ，计算得到  $U$  和  $\theta$ 。 $U$  通过 SCATx\_RES1 读取， $\theta$  通过 SCATx\_RES2 读取。

表 13-7 Atan 模式下寄存器的含义

数据寄存器	输入的内容	输出的内容
SCATx_COS	$U\cos\theta$	-
SCATx_SIN	$U\sin\theta$	-
SCATx_RES1	-	$U$
SCATx_RES2	-	$\theta$

### 13.3.9 PI/PID

#### 13.3.9.1 PI/PID 简介

PI/PID 调节器是一种线性控制器。根据偏差的比例、积分和微分通过线性组合生成控制量，再通过执行器对被控对象进行控制。在电机控制系统中，用于实现速度和位置控制。

PI 公式:

$$U_k = U_{k-1} + Kp \times (E_k - E_{k-1}) + Ki \times E_k$$

PID 公式:

$$U_k = U_{k-1} + Kp \times (E_k - E_{k-1}) + Ki \times E_k + Kd \times (E_k - 2 \times E_{k-1} + E_{k-2})$$

其中，

$U_k$ : 第 k 次计算输出的控制量

$U_{k-1}$ : 第 k-1 次计算输出的控制量

$E_k$ : 第 k 次输入的偏差量

$E_{k-1}$ ,  $E_{k-2}$ : 第 k-1、第 k-2 次输入的偏差量

$K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ : 调节控制量的比例、积分、微分系数

$U_k$  的最大值为  $PIx\_UKMAX(x$  为 0 ~ 3)，最小值为  $PIx\_UKMIN$

#### 13.3.9.2 PI/PID 特性

- 参数范围可调
- 支持多次调用，不支持嵌套

- 运算结果  $Plx\_UK$  为 32 位
- 忙标志位为 0 后读取运算结果

### 13.3.9.3 PI/PID 操作说明

1. PI/PID 操作之前需要先初始化，配置  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  的值以及  $U_k$  的最大最小值；
2. 配置寄存器  $MDU\_CR[MDUMOD]$  为 111，其中选通计算单元 0、1 时为 PI 模式、选通计算单元 2、3 时为 PID 模式；配置  $MDU\_CR[MDUSTA]$ ，选通计算单元并启动 PI/PID 计算，此时繁忙位  $MDU\_CR[MDUBSY]$  自动置 1。
3. 用软件读取  $MDU\_CR[MDUBSY]$  位，为 0 时表示计算完成，计算结果  $Plx\_UK$  数据更新。
4. 读取  $Plx\_UK$  获得生成的控制量。

注：

- 比例参数  $PI\_KP$  的数据格式为 Q12，其余寄存器的数据格式均为 Q15
- $Plx\_UK$  和  $Plx\_EK1$  默认为上一次计算的  $U_k$  和  $E_k$ 。对  $Plx\_EK1$  和  $Plx\_UK$  进行写操作可改变相关数值
- 多次使用 PI 控制器时，在 PI 运算完后保存参数并初始化下次运算参数。初始化操作代码如下

```
Plx_KP = KP;           //初始化  $K_p$ 
Plx_KI = KI;           //初始化  $K_i$ 
Plx_KD = KD;           //初始化  $K_d$ 
Plx_UKMAX = UKMAX;     //初始化输出最大值
Plx_UKMIN = UKMIN;     //初始化输出最小值
Plx_EK1 = X;           //初始化  $E_{k-1}$ 
Plx_UKH = Y1;         //初始化  $U_{k-1}$  的高 16 位
Plx_UKL = Y2;         //初始化  $U_{k-1}$  的低 16 位
```

## 13.4 MDU 寄存器

### 13.4.1 MDU\_CR (0xC1)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MDUBSY	MDUSTA				MDUMOD		
类型	R	R/W1	R/W1	R/W1	R/W1	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	MDUBSY	MDU 忙标志位 当 MDU_CR[6:3] 写入时, MDU 启动, 该位置 1 直到 MDU 完成工作						
[6:3]	MDUSTA	配置 MDU 的计算单元, 有四个单元选择, 对应位置位选择相应的单元; 当启动计算时, MDU 开始工作 0001: 启用计算单元 0 0010: 启用计算单元 1 0100: 启用计算单元 2 1000: 启用计算单元 3						
[2:0]	MDUMOD	MDU 模式选择 000: 运算结果左移 1 位的 16 位有符号乘法 001: 运算结果不移位的 16 位有符号乘法 010: 16 位无符号乘法 011: 32 位/16 位的无符号除法 100: 坐标转换(sin/cos 计算) 101: 反正切函数 110: 低通滤波器 111: PI、PID, PI 和 PID 的模式由计算单元决定, 计算单元 0、1 选择 PI 模式, 计算单元 2、3 选择 PID 模式						

### 13.4.2 MUL0\_MA (0x0FA0, 0x0FA1)

MUL0_MAH (0x0FA0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL0_MA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL0_MAL (0x0FA1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL0_MA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL0_MA	MUL0 的 A 数据寄存器, 为乘法的被乘数						

### 13.4.3 MUL0\_MB (0x0FA2, 0x0FA3)

MUL0_MBH (0x0FA2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL0_MB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

MULO_MBL (0x0FA3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MULO_MB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MULO_MB	MULO 的 B 数据寄存器，为乘法的乘数						

### 13.4.4 MULO\_MC (0x0FA4, 0x0FA5, 0x0FA6, 0x0FA7)

MULO_MCHH (0x0FA4)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	MULO_MC[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MULO_MCHL (0x0FA5)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	MULO_MC[13:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MULO_MCLH (0x0FA6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MULO_MC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MULO_MCLL (0x0FA7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MULO_MC[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	MULO_MC	MULO 的乘积，MULO_MCH 为高 16 位，MULO_MCL 为低 16 位						

### 13.4.5 MUL1\_MA (0x0F98, 0x0F99)

MUL1_MAH (0x0F98)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL1_MA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL1_MAL (0x0F99)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL1_MA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL1_MA	MUL1 的 A 数据寄存器，为乘法的被乘数						

**13.4.6 MUL1\_MB (0x0F9A, 0x0F9B)**

MUL1_MBH(0x0F9A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL1_MB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL1_MBL(0x0F9B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL1_MB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL1_MB	MUL1 的 B 数据寄存器，为乘法的乘数						

**13.4.7 MUL1\_MC (0x0F9C, 0x0F9D, 0x0F9E, 0x0F9F)**

MUL1_MCHH(0x0F9C)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	MUL1_MC[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL1_MCHL(0x0F9D)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	MUL1_MC[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL1_MCLH(0x0F9E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL1_MC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL1_MCLL(0x0F9F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL1_MC[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	MUL1_MC	MUL1 的乘积，MUL1_MCH 为高 16 位，MUL1_MCL 为低 16 位						

**13.4.8 MUL2\_MA (0x0F40, 0x0F41)**

MUL2_MAH(0x0F40)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL2_MA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL2_MAL(0x0F41)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	MUL2_MA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL2_MA	MUL2 的 A 数据寄存器，为乘法的被乘数						

### 13.4.9 MUL2\_MB (0x0F42, 0x0F43)

MUL2_MBH (0x0F42)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL2_MB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL2_MBL (0x0F43)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL2_MB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL2_MB	MUL2 的 B 数据寄存器，为乘法的乘数						

### 13.4.10 MUL2\_MC (0x0F44, 0x0F45, 0x0F46, 0x0F47)

MUL2_MCHH (0x0F44)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	MUL2_MC[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL2_MCHL (0x0F45)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	MUL2_MC[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL2_MCLH (0x0F46)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL2_MC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL2_MCLL (0x0F47)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL2_MC[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	MUL2_MC	MUL2 的乘积，MUL2_MCH 为高 16 位，MUL2_MCL 为低 16 位						

**13.4.11 MUL3\_MA (0x0F38, 0x0F39)**

MUL3_MAH(0x0F38)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL3_MA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL3_MAL(0x0F39)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL3_MA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL3_MA	MUL3 的 A 数据寄存器，为乘法的被乘数						

**13.4.12 MUL3\_MB (0x0F3A, 0x0F3B)**

MUL3_MBH(0x0F3A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL3_MB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL3_MBL(0x0F3B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL3_MB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	MUL3_MB	MUL3 的 B 数据寄存器，为乘法的乘数						

**13.4.13 MUL3\_MC (0x0F3C, 0x0F3D, 0x0F3E, 0x0F3F)**

MUL3_MCHH(0x0F3C)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	MUL3_MC[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL3_MCHL(0x0F3D)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	MUL3_MC[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL3_MCLH(0x0F3E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	MUL3_MC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
MUL3_MCLL(0x0F3F)								

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MUL3_MC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	MUL3_MC	MUL3 的乘积, MUL3_MCH 为高 16 位, MUL3_MCL 为低 16 位						

### 13.4.14 DIV0\_DA (0x0F8C, 0x0F8D, 0x0F8E, 0x0F8F)

DIV0_DAHH(0x0F8C)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV0_DA[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_D AHL(0x0F8D)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV0_DA[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_D ALH(0x0F8E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV0_DA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_D ALL(0x0F8F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV0_DA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	DIV0_DA	DIV0 的被除数, DIV0_DAH 为高 16 位, DIV0_DAL 为低 16 位						

### 13.4.15 DIV0\_DB (0x0F90, 0x0F91)

DIV0_DBH(0x0F90)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV0_DB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_D BL(0x0F91)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV0_DB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	DIV0_DB	DIV0 的 B 数据寄存器, 为除法的除数						

**13.4.16 DIV0\_DQ (0x0F92, 0x0F93, 0x0F94, 0x0F95)**

DIV0_DQHH (0x0F92)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV0_DQ[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_DQHL (0x0F93)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV0_DQ[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_DQLH (0x0F94)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV0_DQ[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_DQLL (0x0F95)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV0_DQ[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	DIV0_DQ[31:0]	DIV0 的商, DIV0_DQH 为高 16 位, DIV0_DQL 为低 16 位						

**13.4.17 DIV0\_DR (0x0F96, 0x0F97)**

DIV0_DRH (0x0F96)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV0_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV0_DRL (0x0F97)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV0_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	DIV0_DR	DIV0 的余数						

**13.4.18 DIV1\_DA (0x0F80, 0x0F81, 0x0F82, 0x0F83)**

DIV1_DAHH (0x0F80)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV1_DA[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_D AHL (0x0F81)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16

名称	DIV1_DA[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DALH(0x0F82)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV1_DA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DALL(0x0F83)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV1_DA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	DIV1_DA	DIV1 的被除数，DIV1_DA 为高 16 位，DIV1_DA 为低 16 位						

#### 13.4.19 DIV1\_DB (0x0F84, 0x0F85)

DIV1_DBH(0x0F84)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV1_DB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DBL(0x0F85)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV1_DB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	DIV1_DB	DIV1 的 B 数据寄存器，为除法的除数						

#### 13.4.20 DIV1\_DQ (0x0F86, 0x0F87, 0x0F88, 0x0F89)

DIV1_DQHH(0x0F86)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV1_DQ[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DQHL(0x0F87)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV1_DQ[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DQLH(0x0F88)								

位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV1_DQ[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DQLL (0x0F89)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV1_DQ[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	DIV1_DQ	DIV1 的商, DIV1_DQH 为高 16 位, DIV1_DQL 为低 16 位						

#### 13.4.21 DIV1\_DR (0x0F8A, 0x0F8B)

DIV1_DRH (0x0F8A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV1_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV1_DRL (0x0F8B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV1_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	DIV1_DR	DIV1 的余数						

#### 13.4.22 DIV2\_DA (0x0F2C, 0x0F2D, 0x0F2E, 0x0F2F)

DIV2_DAHH (0x0F2C)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV2_DA[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_D AHL (0x0F2D)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV2_DA[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_D ALH (0x0F2E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV2_DA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_D ALL (0x0F2F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	DIV2_DA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[31:0]	DIV2_DA	DIV2 的被除数, DIV2_DA 为高 16 位, DIV2_DA 为低 16 位						

### 13.4.23 DIV2\_DB (0x0F30, 0x0F31)

DIV2_DBH(0x0F30)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV2_DB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_DBL(0x0F31)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV2_DB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[15:0]	DIV2_DB	DIV2 的 B 数据寄存器, 为除法的除数						

### 13.4.24 DIV2\_DQ (0x0F32, 0x0F33, 0x0F34, 0x0F35)

DIV2_DQHH(0x0F32)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV2_DQ[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_DQHL(0x0F33)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV2_DQ[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_DQLH(0x0F34)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV2_DQ[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_DQLL(0x0F35)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV2_DQ[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[31:0]	DIV2_DQ	DIV2 的商, DIV2_DQH 为高 16 位, DIV2_DQL 为低 16 位						

**13.4.25 DIV2\_DR (0x0F36, 0x0F37)**

DIV2_DRH(0x0F36)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV2_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV2_DRL(0x0F37)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV2_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	DIV2_DR	DIV2 的余数						

**13.4.26 DIV3\_DA (0x0F20, 0x0F21, 0x0F22, 0x0F23)**

DIV3_DAHH(0x0F20)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV3_DA[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_D AHL(0x0F21)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV3_DA[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DALH(0x0F22)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV3_DA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DALL(0x0F23)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV3_DA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	DIV3_DA	DIV3 的被除数, DIV3_DAH 为高 16 位, DIV3_DAL 为低 16 位						

**13.4.27 DIV3\_DB (0x0F24, 0x0F25)**

DIV3_DBH(0x0F24)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV3_DB[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DBL(0x0F25)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	DIV3_DB[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[15:0]	DIV3_DB	DIV3 的 B 数据寄存器，为除法的除数						

### 13.4.28 DIV3\_DQ (0x0F26, 0x0F27, 0x0F28, 0x0F29)

DIV3_DQHH (0x0F26)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	DIV3_DQ[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DQHL (0x0F27)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	DIV3_DQ[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DQLH (0x0F28)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV3_DQ[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DQLL (0x0F29)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV3_DQ[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[31:0]	DIV3_DQ	DIV3 的高，DIV3_DQH 为高 16 位，DIV3_DQL 为低 16 位						

### 13.4.29 DIV3\_DR (0x0F2A, 0x0F2B)

DIV3_DRH (0x0F2A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	DIV3_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
DIV3_DRL (0x0F2B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DIV3_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[15:0]	DIV3_DR	DIV3 的余数						

**13.4.30 SCATO\_COS (0x0F16, 0x0F17)**

SCATO_COSH(0x0F16)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCATO_COS[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCATO_COSL(0x0F17)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCATO_COS[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCATO_COS	SCATO 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 COS 输入						

**13.4.31 SCATO\_SIN (0x0F18, 0x0F19)**

SCATO_SINH(0x0F18)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCATO_SIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCATO_SINL(0x0F19)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCATO_SIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCATO_SIN	SCATO 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 SIN 输入						

**13.4.32 SCATO\_THE (0x0F1A, 0x0F1B)**

SCATO_THEH(0x0F1A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCATO_THE[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCATO_THEL(0x0F1B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCATO_THE[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCATO_THE	SCATO 单元 SIN/COS 模式的 THE 输入						

**13.4.33 SCAT0\_RES1 (0x0F1C, 0x0F1D)**

SCAT0_RES1H(0x0F1C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT0_RES1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT0_RES1L(0x0F1D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT0_RES1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT0_RES1	SCAT0 单元 SIN/COS 模式的 COS 输出, ATAN 模式的 $U$ 输出						

**13.4.34 SCAT0\_RES2 (0x0F1E, 0x0F1F)**

SCAT0_RES2H(0x0F1E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT0_RES2[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT0_RES2L(0x0F1F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT0_RES2[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT0_RES2	SCAT0 单元 SIN/COS 模式的 SIN 输出, ATAN 模式的 $\theta$ 输出						

**13.4.35 SCAT1\_COS (0x0F0C, 0x0F0D)**

SCAT1_COSH(0x0F0C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT1_COS[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT1_COSL(0x0F0D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT1_COS[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT1_COS	SCAT1 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 COS 输入						

**13.4.36 SCAT1\_SIN (0x0F0E, 0x0F0F)**

SCAT1_SINH(0x0F0E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT1_SIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT1_SINL(0x0F0F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT1_SIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT1_SIN	SCAT1 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 SIN 输入						

**13.4.37 SCAT1\_THE (0x0F10, 0x0F11)**

SCAT1_THEH(0x0F10)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT1_THE[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT1_THEL(0x0F11)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT1_THE[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT1_THE	SCAT1 单元 SIN/COS 模式的 THE 输入						

**13.4.38 SCAT1\_RES1 (0x0F12, 0x0F13)**

SCAT1_RES1H(0x0F12)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT1_RES1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT1_RES1L(0x0F13)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT1_RES1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT1_RES1	SCAT1 单元 SIN/COS 模式的 COS 输出，ATAN 模式的 U 输出						

**13.4.39 SCAT1\_RES2 (0x0F14, 0x0F15)**

SCAT1_RES2H(0x0F14)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT1_RES2[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT1_RES2L(0x0F15)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT1_RES2[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT1_RES2	SCAT1 单元 SIN/COS 模式的 SIN 输出, ATAN 模式的 $\theta$ 输出						

**13.4.40 SCAT2\_COS (0x0F02, 0x0F03)**

SCAT2_COSH(0x0F02)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT2_COS[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT2_COSL(0x0F03)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT2_COS[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT2_COS	SCAT2 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 COS 输入						

**13.4.41 SCAT2\_SIN (0x0F04, 0x0F05)**

SCAT2_SINH(0x0F04)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT2_SIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT2_SINL(0x0F05)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT2_SIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT2_SIN	SCAT2 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 SIN 输入						

**13.4.42 SCAT2\_THE (0x0F06, 0x0F07)**

SCAT2_THEH (0x0F06)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT2_THE[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT2_THEL (0x0F07)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT2_THE[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT2_THE	SCAT2 单元 SIN/COS 模式的 THE 输入						

**13.4.43 SCAT2\_RES1 (0x0F08, 0x0F09)**

SCAT2_RES1H (0x0F08)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT2_RES1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT2_RES1L (0x0F09)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT2_RES1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT2_RES1	SCAT2 单元 SIN/COS 模式的 COS 输出, ATAN 模式的 $U$ 输出						

**13.4.44 SCAT2\_RES2 (0x0F0A, 0x0F0B)**

SCAT2_RES2H (0x0F0A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT2_RES[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT2_RES2L (0x0F0B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT2_RES[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT2_RES2	SCAT2 单元 SIN/COS 模式的 SIN 输出, ATAN 模式的 $\theta$ 输出						

**13.4.45 SCAT3\_COS (0x0EF8, 0x0EF9)**

SCAT3_COSH(0x0EF8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT3_COS[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT3_COSL(0x0EF9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT3_COS[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT3_COS	SCAT3 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 COS 输入						

**13.4.46 SCAT3\_SIN (0x0EFA, 0x0EFB)**

SCAT3_SINH(0x0EFA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT3_SIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT3_SINL(0x0EFB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT3_SIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT3_SIN	SCAT3 单元 SIN/COS、ATAN 模式的 SIN 输入						

**13.4.47 SCAT3\_THE (0x0EFC, 0x0EFD)**

SCAT3_THEH(0x0EFC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT3_THE[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT3_THEL(0x0EFD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT3_THE[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT3_THE	SCAT3 单元 SIN/COS 模式的 THE 输入						

**13.4.48 SCAT3\_RES1 (0x0EFE, 0x0EFF)**

SCAT3_RES1H(0x0EFE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT3_RES1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT3_RES1L(0x0EFF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT3_RES1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT3_RES1	SCAT3 单元 SIN/COS 模式 COS 输出, ATAN 模式的U输出						

**13.4.49 SCAT3\_RES2 (0x0F00, 0x0F01)**

SCAT3_RES2H(0x0F00)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	SCAT3_RES[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
SCAT3_RES2L(0x0F01)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SCAT3_RES[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	SCAT3_RES2	SCAT3 单元 SIN/COS 模式的 SIN 输出, ATAN 模式的 $\theta$ 输出						

**13.4.50 LPF0\_K (0x0FD0, 0x0FD1)**

LPF0_KH(0x0FD0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF0_K[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF0_KL(0x0FD1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF0_K[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF0_K[15:0]	LPF0 的 K 输入						

**13.4.51 LPF0\_X (0x0FD2, 0x0FD3)**

LPF0_XH (0x0FD2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF0_X[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF0_XL (0x0FD3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF0_X[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF0_X[15:0]	LPF0 的 X 输入						

**13.4.52 LPF0\_Y (0x0FD4, 0x0FD5, 0x0FD6, 0x0FD7)**

LPF0_YHH (0x0FD4)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	LPF0_Y[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF0_YHL (0x0FD5)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	LPF0_Y[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF0_YLH (0x0FD6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF0_Y[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF0_YLL (0x0FD7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF0_Y[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	LPF0_Y[31:0]	LPF0 单元该寄存器的输入输出内容 输入内容: LPF0_Y <sub>k-1</sub> 输出内容: LPF0_Y <sub>k</sub>						

**13.4.53 LPF1\_K (0x0FC8, 0x0FC9)**

LPF1_KH (0x0FC8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF1_K[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF1_KL (0x0FC9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	LPF1_K[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位</b>	<b>名称</b>	<b>描述</b>						
[15:0]	LPF1_K[15:0]	LPF1 的 K 输入						

### 13.4.54 LPF1\_X (0x0FCA, 0x0FCB)

LPF1_XH(0x0FCA)								
<b>位</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
名称	LPF1_X[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF1_XL(0x0FCB)								
<b>位</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
名称	LPF1_X[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位</b>	<b>名称</b>	<b>描述</b>						
[15:0]	LPF1_X[15:0]	LPF1 的 X 输入						

### 13.4.55 LPF1\_Y (0x0FCC, 0x0FCD, 0x0FCE, 0x0FCF)

LPF1_YHH(0x0FCC)								
<b>位</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>24</b>
名称	LPF1_Y[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF1_YHL(0x0FCD)								
<b>位</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>16</b>
名称	LPF1_Y[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF1_YLH(0x0FCE)								
<b>位</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
名称	LPF1_Y[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF1_YLL(0x0FCF)								
<b>位</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
名称	LPF1_Y[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位</b>	<b>名称</b>	<b>描述</b>						
[31:0]	LPF1_Y[31:0]	LPF1 单元该寄存器的输入输出内容 输入内容: LPF1_Y <sub>k-1</sub> 输出内容: LPF1_Y <sub>k</sub>						

**13.4.56 LPF2\_K (0x0F78, 0x0F79)**

LPF2_KH(0x0F78)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF2_K[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF2_KL(0x0F79)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF2_K[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF2_K[15:0]	LPF2 的 K 输入						

**13.4.57 LPF2\_X (0x0F7A, 0x0F7B)**

LPF2_XH(0x0F7A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF2_X[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF2_XL(0x0F7B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF2_X[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF2_X[15:0]	LPF2 的 X 输入						

**13.4.58 LPF2\_Y (0x0F7C, 0x0F7D, 0x0F7E, 0x0F7F)**

LPF2_YHH(0x0F7C)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	LPF2_Y[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF2_YHL(0x0F7D)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16
名称	LPF2_Y[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF2_YLH(0x0F7E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF2_Y[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF2_YLL(0x0F7F)								

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF2_Y[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	LPF2_Y[31:0]	LPF2 单元该寄存器的输入输出内容 输入内容: LPF2_Y <sub>k-1</sub> 输出内容: LPF2_Y <sub>k</sub>						

### 13.4.59 LPF3\_K (0x0F70, 0x0F71)

LPF3_KH(0x0F70)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF3_K[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF3_KL(0x0F71)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF3_K[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF3_K[15:0]	LPF3 的 K 输入						

### 13.4.60 LPF3\_X (0x0F72, 0x0F73)

LPF3_XH(0x0F72)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF3_X[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF3_XL(0x0F73)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF3_X[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	LPF3_K[15:0]	LPF3 的 X 输入						

### 13.4.61 LPF3\_Y (0x0F74, 0x0F75, 0x0F76, 0x0F77)

LPF3_YHH(0x0F74)								
位	31	30	29	28	27	26	25	24
名称	LPF3_Y[31:24]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF3_YHL(0x0F75)								
位	23	22	21	20	19	18	17	16

名称	LPF3_Y[23:16]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF3_YLH(0x0F76)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	LPF3_Y[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
LPF3_YLL(0x0F77)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LPF3_Y[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[31:0]	LPF3_Y[31:0]	LPF3 单元该寄存器的输入输出内容 输入内容: LPF3_Y <sub>k-1</sub> 输出内容: LPF3_Y <sub>k</sub>						

### 13.4.62 PIO\_KP (0x0FB8, 0x0FB9)

PIO_KPH(0x0FB8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_KP[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_KPL(0x0FB9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_KP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_KP	PIO 的比例系数						

### 13.4.63 PIO\_EK1 (0x0FBA, 0x0FBB)

PIO_EK1H(0x0FBA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_EK1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_EK1L(0x0FBB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_EK1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	PIO_EK1	PIO 的上一次输入的偏差量

### 13.4.64 PIO\_EK (0x0FBC, 0x0FBD)

PIO_EKH(0x0FBC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_EK[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_EKL(0x0FBD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_EK[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_EK	PIO 的本次输入偏差量						

### 13.4.65 PIO\_KI (0x0FBE, 0x0FBF)

PIO_KIH(0x0FBE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_KI[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_KIL(0x0FBF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_KI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_KI	PIO 的积分系数						

### 13.4.66 PIO\_UKH (0x0FC0, 0x0FC1)

PIO_UKHH(0x0FC0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_UKH[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_UKHL(0x0FC1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_UKH[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_UKH	PIO 的输出结果高 16 位						

**13.4.67 PIO\_UKL (0x0FC2, 0x0FC3)**

PIO_UKLH(0x0FC2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_UKL[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_UKLL(0x0FC3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_UKL[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_UKL	PIO 的输出结果低 16 位						

**13.4.68 PIO\_UKMAX (0x0FC4, 0x0FC5)**

PIO_UKMAXH(0x0FC4)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_UKMAX[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_UKMAXL(0x0FC5)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_UKMAX[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_UKMAX	PIO 的输出允许的最大值						

**13.4.69 PIO\_UKMIN (0x0FC6, 0x0FC7)**

PIO_UKMINH(0x0FC6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PIO_UKMIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PIO_UKMINL(0x0FC7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PIO_UKMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PIO_UKMIN	PIO 的输出允许的最小值						

**13.4.70 PI1\_KP (0x0FA8, 0x0FA9)**

PI1_KPH(0x0FA8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_KP[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_KPL(0x0FA9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_KP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_KP	PI1 的比例系数						

**13.4.71 PI1\_EK1 (0x0FAA, 0x0FAB)**

PI1_EK1H(0x0FAA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_EK1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_EK1L(0x0FAB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_EK1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_EK1	PI1 的上一次输入的偏差量						

**13.4.72 PI1\_EK (0x0FAC, 0x0FAD)**

PI1_EKH(0x0FAC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_EK[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_EKL(0x0FAD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_EK[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_EK	PI1 的本次输入的偏差量						

**13.4.73 PI1\_KI (0x0FAE, 0x0FAF)**

PI1_KIH(0x0FAE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_KI[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_KIL(0x0FAF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_KI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_KI	PI1 的积分系数						

**13.4.74 PI1\_UKH (0x0FB0, 0x0FB1)**

PI1_UKHH(0x0FB0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_UKH[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_UKHL(0x0FB1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_UKH[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_UKH	PI1 的输出结果高 16 位						

**13.4.75 PI1\_UKL (0x0FB2, 0x0FB3)**

PI1_UKLH(0x0FB2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_UKL[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_UKLL(0x0FB3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_UKL[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_UKL	PI1 的输出结果低 16 位						

**13.4.76 PI1\_UKMAX (0x0FB4, 0x0FB5)**

PI1_UKMAXH(0x0FB4)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_UKMAX[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_UKMAXL(0x0FB5)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_UKMAX[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_UKMAX	PI1 的输出允许的最大值						

**13.4.77 PI1\_UKMIN (0x0FB6, 0x0FB7)**

PI1_UKMINH(0x0FB6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI1_UKMIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI1_UKMINL(0x0FB7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI1_UKMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI1_UKMIN	PI1 的输出允许的最小值						

**13.4.78 PI2\_KP (0x0F5C, 0x0F5D)**

PI2_KPH(0x0F5C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_KP[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_KPL(0x0F5D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_KP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_KP	PI2 的比例系数						

**13.4.79 PI2\_EK1 (0x0F5E, 0x0F5F)**

PI2_EK1H(0x0F5E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_EK1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_EK1L(0x0F5F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_EK1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_EK1	PI2 的上一次输入的偏差量						

**13.4.80 PI2\_EK (0x0F60, 0x0F61)**

PI2_EKH(0x0F60)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_EK[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_EKL(0x0F61)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_EK[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_EK	PI2 的本次输入的偏差量						

**13.4.81 PI2\_KI (0x0F62, 0x0F63)**

PI2_KIH(0x0F62)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_KI[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_KIL(0x0F63)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_KI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_KI	PI2 的积分系数						

**13.4.82 PI2\_UKH (0x0F64, 0x0F65)**

PI2_UKHH (0x0F64)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_UKH[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_UKHL (0x0F65)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_UKH[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_UKH	PI2 的输出高 16 位						

**13.4.83 PI2\_UKL (0x0F66, 0x0F67)**

PI2_UKLH (0x0F66)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_UKL[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_UKLL (0x0F67)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_UKL[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_UKL	PI2 的输出的低 16 位						

**13.4.84 PI2\_UKMAX (0x0F68, 0x0F69)**

PI2_UKMAXH (0x0F68)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_UKMAX[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_UKMAXL (0x0F69)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_UKMAX[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_UKMAX	PI2 的输出允许的最大值						

**13.4.85 PI2\_UKMIN (0x0F6A, 0x0F6B)**

PI2_UKMINH(0x0F6A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_UKMIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_UKMINL(0x0F6B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_UKMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_UKMIN	PI2 的输出允许的最小值						

**13.4.86 PI2\_KD (0x0F6C, 0x0F6D)**

PI2_KDH(0x0F6C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_KD[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_KDL(0x0F6D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_KD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_KD	PI2 的微分系数						

**13.4.87 PI2\_EK2 (0x0F6E, 0x0F6F)**

PI2_EK2H(0x0F6E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI2_EK2[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI2_EK2L(0x0F6F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI2_EK2[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI2_EK2	PI2 的上上次输入的偏差量						

**13.4.88 PI3\_KP (0x0F48, 0x0F49)**

PI3_KPH(0x0F48)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_KP[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_KPL(0x0F49)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_KP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_KP	PI3 的比例系数						

**13.4.89 PI3\_EK1 (0x0F4A, 0x0F4B)**

PI3_EK1H(0x0F4A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_EK1[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_EK1L(0x0F4B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_EK1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_EK1	PI3 的上一次输入的偏差量						

**13.4.90 PI3\_EK (0x0F4C, 0x0F4D)**

PI3_EKH(0x0F4C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_EK[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_EKL(0x0F4D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_EK[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_EK	PI3 的本次输入的偏差量						

**13.4.91 PI3\_KI (0x0F4E, 0x0F4F)**

PI3_KIH(0x0F4E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_KI[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_KIL(0x0F4F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_KI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_KI	PI3 的积分系数						

**13.4.92 PI3\_UKH (0x0F50, 0x0F51)**

PI3_UKHH(0x0F50)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_UKH[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_UKHL(0x0F51)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_UKH[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_UKH	PI3 的输出结果高 16 位						

**13.4.93 PI3\_UKL (0x0F52, 0x0F53)**

PI3_UKLH(0x0F52)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_UKL[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_UKLL(0x0F53)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_UKL[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_UKL	PI3 的输出结果低 16 位						

**13.4.94 PI3\_UKMAX (0x0F54, 0x0F55)**

PI3_UKMAXH(0x0F54)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_UKMAX[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_UKMAXL(0x0F55)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_UKMAX[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_UKMAX	PI3 的输出允许的最大值						

**13.4.95 PI3\_UKMIN (0x0F56, 0x0F57)**

PI3_UKMINH(0x0F56)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_UKMIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_UKMINL(0x0F57)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_UKMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_UKMIN	PI3 的输出允许的最小值						

**13.4.96 PI3\_KD (0x0F58, 0x0F59)**

PI3_KDH(0x0F58)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_KD[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_KDL(0x0F59)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_KD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_KD	PI3 的微分系数						

**13.4.97 PI3\_EK2 (0x0F5A, 0x0F5B)**

PI3_EK2H(0x0F5A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	PI3_EK2[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
PI3_EK2L(0x0F5B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	PI3_EK2[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	PI3_EK2	PI3 的上上次输入的偏差量						

## 14 FOC

### 14.1 FOC 说明

#### 14.1.1 FOC 简介

FOC 模块用于基于无感 FOC，有感 FOC 驱动电机的应用场合，并可用于基于 SVPWM 的电机控制。当  $DRV\_CR0[FOCEN] = 0$  时，FOC 模块不工作，FOC 时钟停止，相关寄存器处于复位状态且无法写入。

FOC 模块包含角度估算器，PI 控制器，坐标转换模块，电流采样模块和 PWM 波形输出模块，可硬件实现电流闭环。角度估算器利用电机电流信号估算转子位置，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。

- 无感 FOC 控制: 采用角度估算器估算角度实现坐标变换，同时估算电机速度供 MCU 做速度闭环控制
- 有感 FOC 控制: FOC 模块提供角度输入接口，MCU 采集位置传感器信号并进行处理，得到角度并将角度值送入 FOC 模块实现坐标变换。

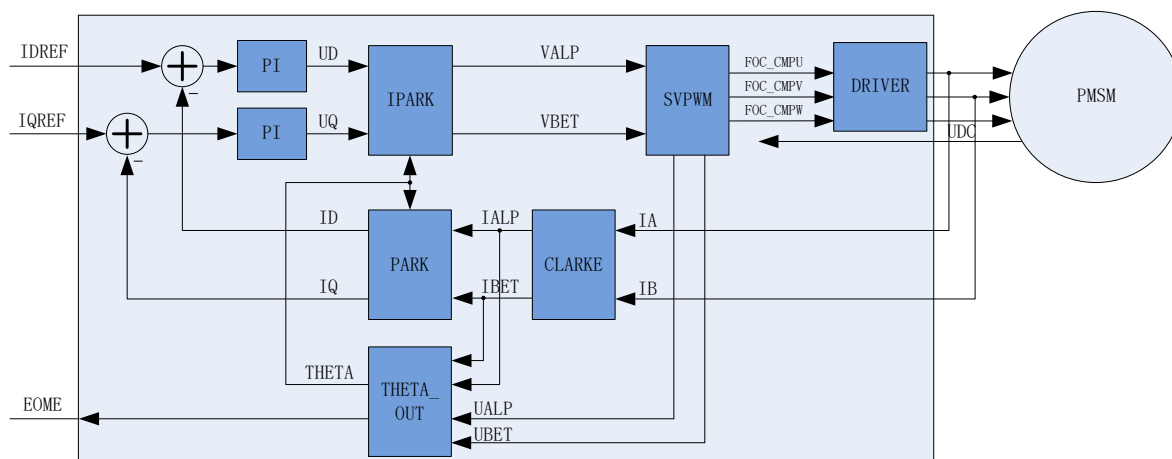


图 14-1 FOC 原理框图

#### 14.1.2 参考输入

FOC 模块使用 d 轴电流参考值  $FOC\_IDREF$  和 q 轴电流参考值  $FOC\_IQREF$  作为电流参考值，使用 d 轴电流采样值  $FOC\_ID$  和 q 轴电流采样值  $FOC\_IQ$  作为电流反馈值，实现电流闭环控制。FOC 模块提供实时估算的电机转速  $FOC\_EOME$ ，MCU 可将此信号作为反馈输入构建转速 PI 外环并将输出量赋值给  $FOC\_IQREF$ ，实现速度-电流双闭环控制。

### 14.1.3 PI 控制器

FOC 模块使用 2 个 PI 控制器，分别应用于：

1. 转子磁通控制:d 轴的电流 PI 控制器。以 d 轴电流指令值 FOC\_IDREF 与反馈电流 FOC\_ID 的偏差作为输入，比例系数 FOC\_DQKP 和积分系数 FOC\_DQKI 调节 PI 控制器性能，d 轴输出最大值 FOC\_DMAX 和 d 轴输出最小值 FOC\_DMIN 对输出进行限幅，最后输出 d 轴电压指令 FOC\_UD；
2. 转子转矩控制:q 轴的电流 PI 控制器。以 q 轴电流指令值 FOC\_IQREF 与反馈电流 FOC\_IQ 的偏差作为输入，比例系数 FOC\_DQKP 和积分系数 FOC\_DQKI 调节 PI 控制器性能，q 轴输出最大值 FOC\_QMAX 和 q 轴输出最小值 FOC\_QMIN 对输出进行限幅，最后输出 q 轴电压指令 FOC\_UQ。

### 14.1.4 坐标转换

#### 14.1.4.1 Park 逆变换

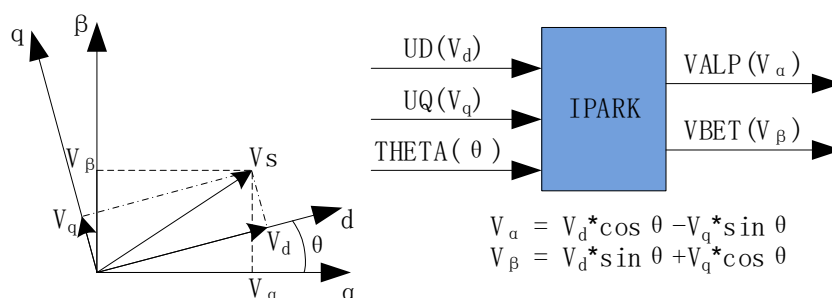


图 14-2 Park 逆变换

d-q 轴电压 PI 控制器运算后得到 d-q 轴下两个电压分量 FOC\_UD 和 FOC\_UQ。使用 Park 逆变换将电压矢量从两相旋转 d-q 坐标系变换到两相静止  $\alpha$ - $\beta$  坐标系。

### 14.1.4.2 Clarke 变换

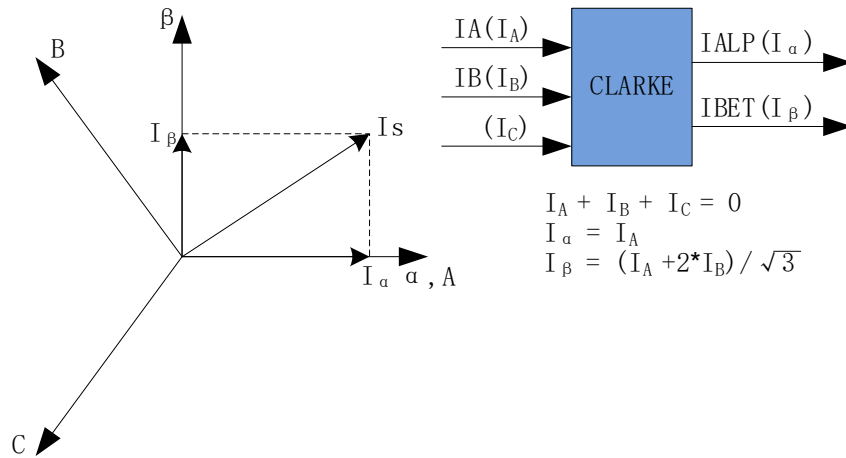


图 14-3 Clarke 变换

Clarke 变换将采样到的 A 相电流和 B 相电流从三相静止 A-B-C 坐标系变换到两相静止  $\alpha$ - $\beta$  坐标系。

### 14.1.4.3 Park 变换

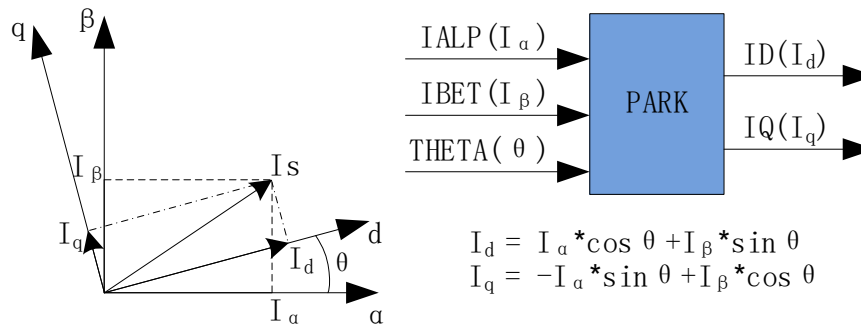


图 14-4 Park 变换

Park 变换将采样电流从两相静止  $\alpha$ - $\beta$  坐标系变换到两相旋转 d-q 坐标系，获得 d-q 轴反馈电流 FOC\_ID 和 FOC\_IQ。

### 14.1.5 SVPWM

SVPWM 算法是 FOC 控制的重要组成部分，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(用 1 表示)与下桥打开时电机相线连接至地线(用 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。

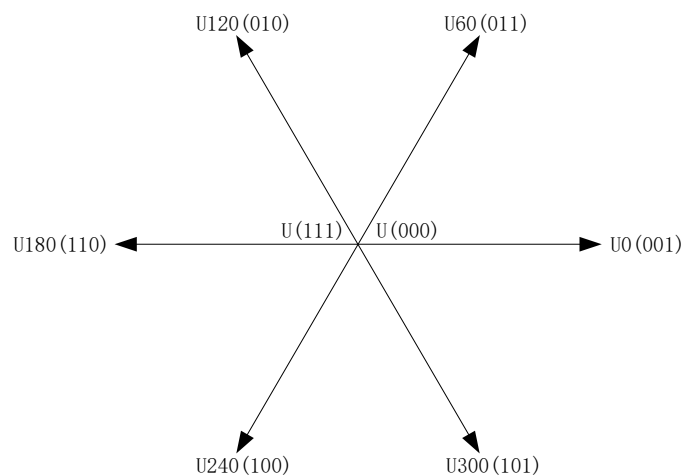


图 14-5 SVPWM 电压矢量

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 14-6 所示， $U_{OUT}$  是期望生成的空间电压矢量，该矢量位于  $U_{60}$  和  $U_0$  之间。根据冲量相等原则，在很短的 PWM 周期  $T_s$  期间， $U_0$  的输出时间  $2 \cdot T_1$  和  $U_{60}$  的输出时间  $2 \cdot T_2$  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  $T_0$ 。

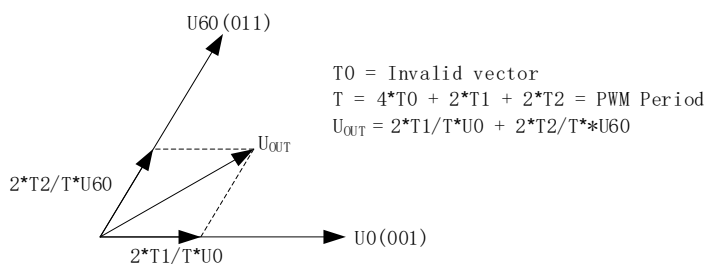


图 14-6 SVPWM 电压合成

表 14-1 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	$\frac{2}{3}U_{DC}$	0	001
0	1	1	$\frac{1}{3}U_{DC}$	$\frac{1}{3}U_{DC}$	011
0	1	0	$-\frac{1}{3}U_{DC}$	$\frac{1}{3}U_{DC}$	010
1	1	0	$-\frac{2}{3}U_{DC}$	0	110
1	0	0	$-\frac{1}{3}U_{DC}$	$-\frac{1}{3}U_{DC}$	100
1	0	1	$\frac{1}{3}U_{DC}$	$-\frac{1}{3}U_{DC}$	101
1	1	1	0	0	111

### 14.1.5.1 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 FOC\_CR2[F5SEG] = 0 选择七段式 SVPWM。

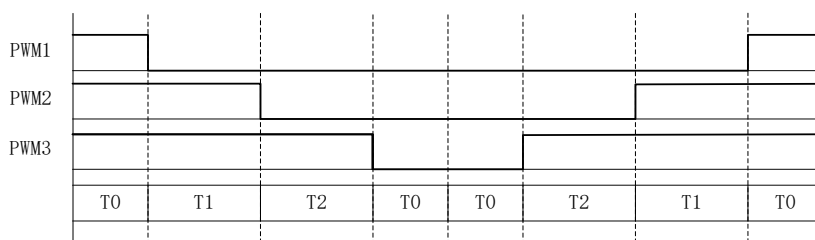


图 14-7 七段式 SVPWM 输出电平

### 14.1.5.2 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 FOC\_CR2[F5SEG] = 1 使能五段式 SVPWM。

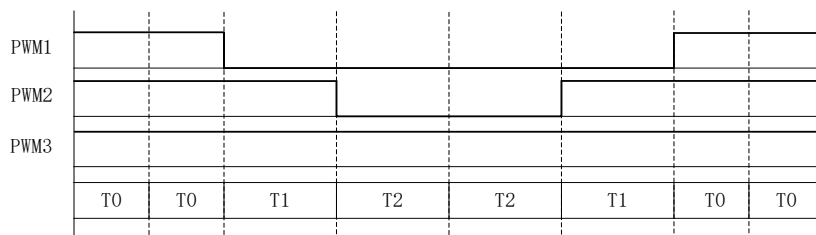


图 14-8 五段式 SVPWM 输出电平

### 14.1.6 死区补偿

死区补偿只可用于双/三电阻电流采样模式，配置 `FOC_TSMIN` 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。

### 14.1.7 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，母线电压的分压比为  $1/10$ ，电流采样电阻为  $0.1\Omega$ 。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。母线电压的采样通道为 ADC 通道 2。根据 `FOC_CR1[CSM]` 选择单/双/三/新单电阻电流采样模式。在单电阻电流采样模式下默认 ADC 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默认通道 0 为 `ia` 的采样通道，通道 1 为 `ib` 的采样通道，通道 3 为 `ic` 的采样通道。

#### 14.1.7.1 单电阻采样模式

配置 `FOC_CR1[CSM] = 00`，选择单电阻电流采样模式。在单电阻电流采样模式下，FOC 模块在 Driver 计数器向上计数的区间对母线电流 `itrip`(通道 4) 进行两次采样，在 Driver 计数器向下计数的区间且 FOC 模块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，FOC 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 `FOC_TRGDLY` 对采样时间进行提前或者延迟，保证在  $T1'$ 、 $T2'$  中完成采样。例: `FOC_TRGDLY = 5`，则延迟  $5 * T = 208\text{ns}$ ；`FOC_TRGDLY = 0xFB(-5)`，则提前  $208\text{ns}$ 。

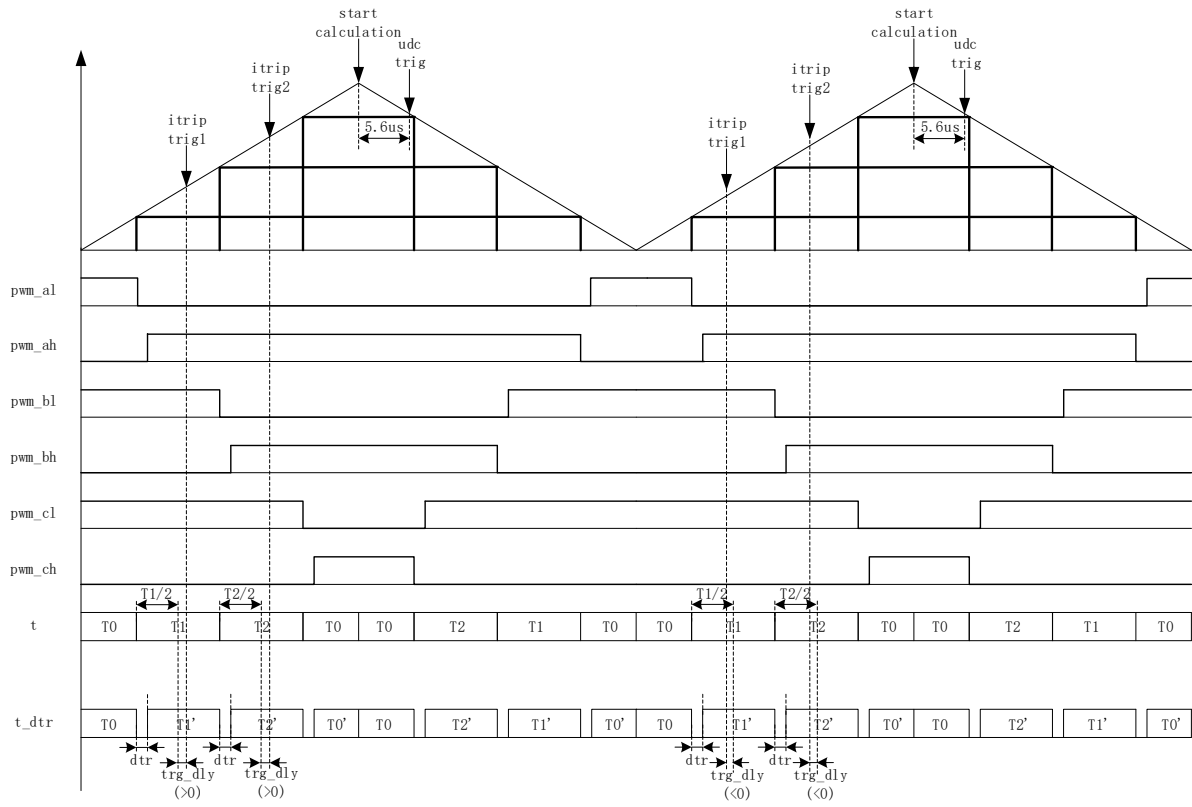


图 14-9 单电阻采样时序

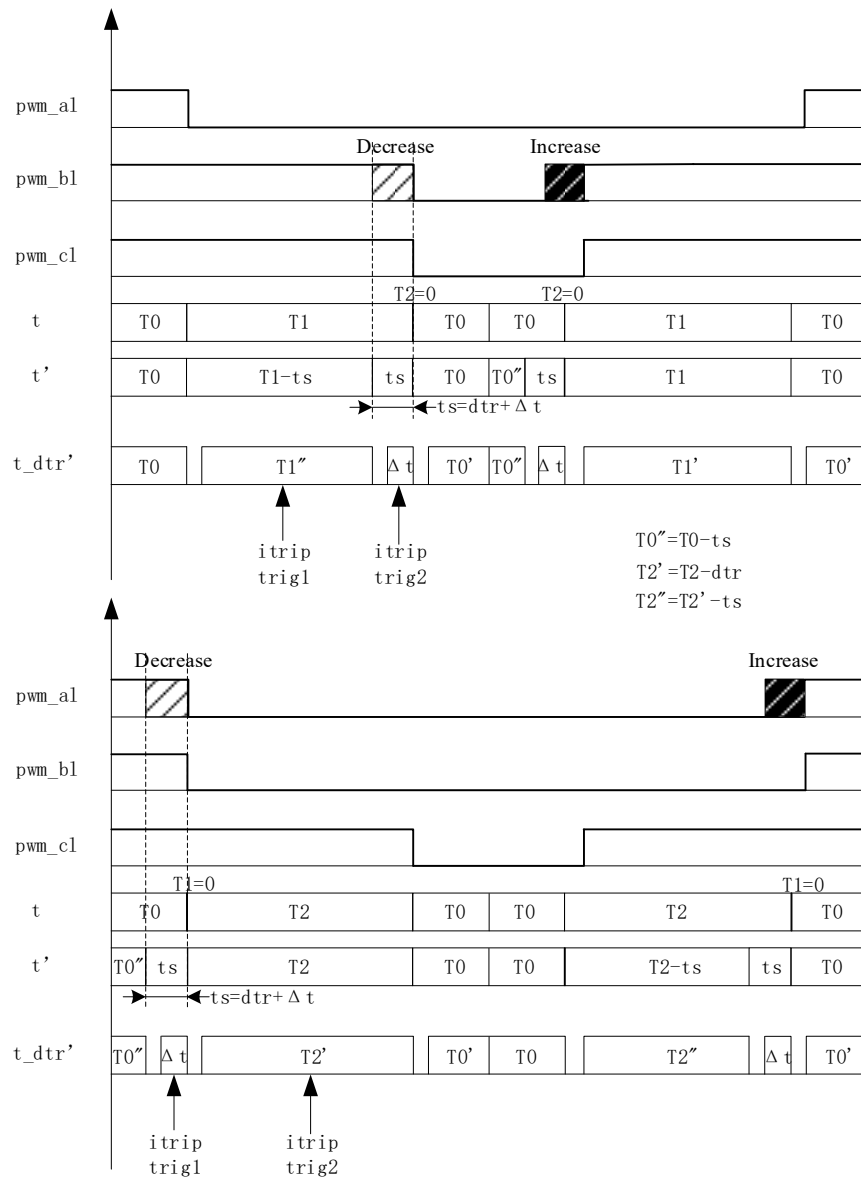


图 14-10 单电阻采样时间补偿

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 FOC\_TSMIN (FOC\_TSMIN = 最小采样窗口时间 + 死区时间)，FOC 模块会对 PWM 波形自动进行移相处理。

### 14.1.7.2 双三电阻采样模式

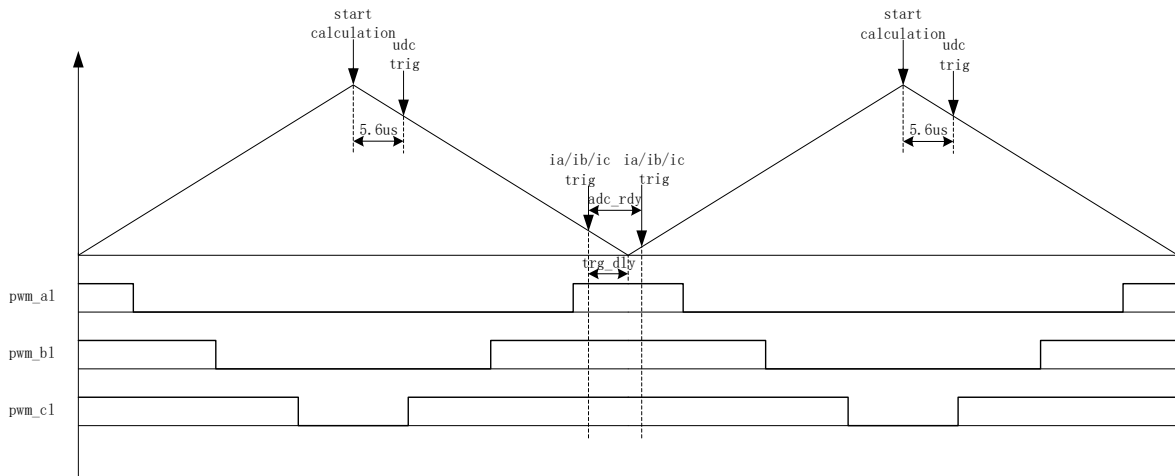


图 14-11 双三电阻电流顺序采样模式

配置  $\text{FOC\_CR1}[\text{CSM}] = 10/11$  和  $\text{FOC\_CR2}[\text{DSS}] = 0$ ，选择双/三电阻电流顺序采样模式。在三电阻电流顺序采样模式下，通过  $\text{FOC\_TRGDLY}$  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  $\text{FOC\_TRGDLY}$  寄存器设置调整  $ia$  的采样时机，当采样完毕后迅速对  $ib$  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:  $\text{FOC\_TRGDLY} = 0xB2$ ，则当 FOC 计数器向下计数，在下溢事件前  $50 \cdot T = 2.08\mu\text{s}$  对  $ia/ib/ic$  采样，采样完毕后对另外一相  $ia/ib/ic$  采样。

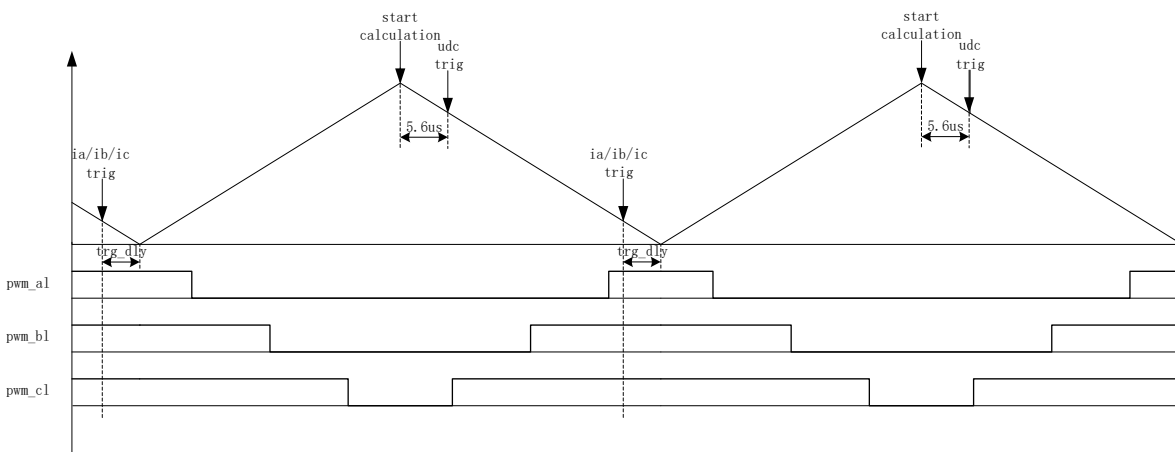


图 14-12 双三电阻电流交替采样模式

配置  $\text{FOC\_CR1}[\text{CSM}] = 10/11$  和  $\text{FOC\_CR2}[\text{DSS}] = 1$ ，即选择双/三电阻电流交替采样模式。在双/三电阻电流交替采样模式下，一个载波周期 FOC 模块运算一次，但只对一相相电流(根据扇区决定是  $ia/ib/ic$ )进行采样。前一个载波周期采集  $ia/ib/ic$  中的一相，后一个载波周期采集另外一相相电流，如此交替对三相中的两相进行电流采样。通过  $\text{FOC\_TRGDLY}$  寄存器设置对电流  $ia$ (通道 0)， $ib$ (通道

1),  $i_c$ (通道 4)的采样时机, 需要注意的是电流采样时机的设置应该使  $i_a/i_b/i_c$  采样点均在矢量 000 区间。例:  $FOC\_TRGDLY = 0xB2$ , 则当 FOC 计数器向下计数, 在下溢事件前  $50 * T = 2.08\mu s$  对电流采样。

双/三相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。

### 14.1.7.3 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对相应的通道进行多次采样, 求平均后写进基准寄存器  $FOC\_CSO$ 。假设 ADC 的电压范围  $0V \sim 5V$ , 偏置为  $2.5V$ , 则  $FOC\_CSO = 2.5V/5V * 32768 = 16384(0x4000)$ 。

- 当  $FOC\_CR2[CSOC] = 00/11$  时, 写  $FOC\_CSO$  是修改  $i_{trip}$  和  $i_c$  的偏置
- 当  $FOC\_CR2[CSOC] = 01$  时, 写  $FOC\_CSO$  是修改  $i_a$  的偏置
- 当  $FOC\_CR2[CSOC] = 10$  时, 写  $FOC\_CSO$  是修改  $i_b$  的偏置

### 14.1.8 角度模式

角度的来源分两种情况:

- 估算器估算角度
- 估算器强制角度

### 14.1.8.1 估算器角度

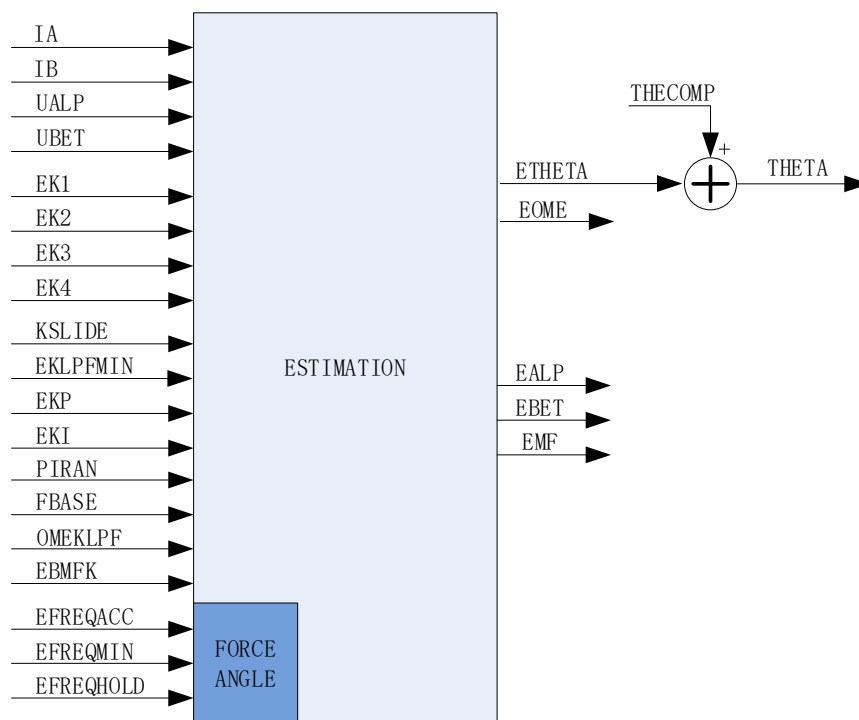


图 14-13 估算器原理框图

#### 14.1.8.1.1 估算器估算角度

估算器根据用户输入的电机参数和控制参数构建电机模型，根据采集的电机电流和电压进行估算，输出与实际情况相符合的角度。估算器可选择自适应模式和 SMO 模式，通过 FOC\_CR3[MFP\_EN] 进行选择。

#### 14.1.8.1.2 估算器强制角度

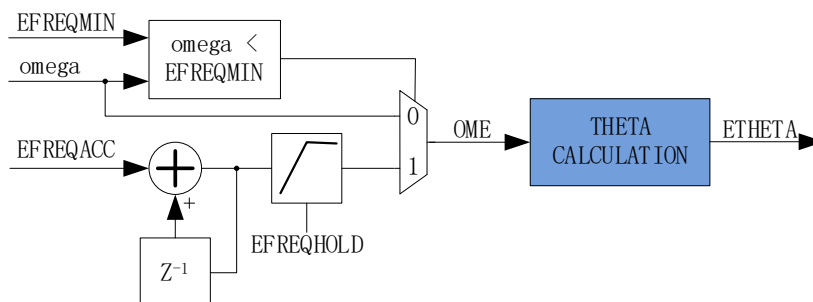


图 14-14 估算器强制角度原理框图

此功能与爬坡功能类似。电机启动时电机的输出较小，采集的电流小，估算器模型估算的角度和速度与实际值存在较大的误差，可能令电机启动失败。在这种情况下，估算器输出强制角度，可保证电机顺利启动。

配置  $FOC\_CR1[RFAE] = 0$ ， $FOC\_CR1[EFAE] = 1$ ，使能估算器强制角度功能。如图 14-14 所示通过判断估算器的瞬时估算速度  $\omega$ (芯片内部信号)与  $FOC\_EFREQMIN$  的大小，选择不同速度作为最终速度  $OME$  供角度计算模块算出估算器角度  $FOC\_ETHETA$ 。当  $\omega < FOC\_EFREQMIN$  时，使用估算器强制速度，强制速度从 0 开始，每个载波周期与速度增量  $FOC\_EFREQACC$  相加，实现加速，同时以  $FOC\_EFREQHOLD$  限制速度的最大值。当  $\omega \geq FOC\_EFREQMIN$  时， $\omega$  作为  $OME$ 。

估算器估算速度  $FOC\_EOME$  由  $OME$  经过  $FOC\_OMEKLPF$  低通滤波获得。

#### 14.1.8.1.3 角度补偿

补偿值  $FOC\_THECOMP$  对估算角度  $FOC\_ETHETA$  进行补偿并输出。 $FOC\_THECOMP$  为负值时，补偿的是滞后角； $FOC\_THECOMP$  为正值时，补偿的是超前角。

#### 14.1.9 电机实时参数

FOC 驱动电机运行时，用户可实时查看电机的实时参数判断电机的运行状态。FOC 模块提供的实时参数有：

- 输出角度值  $FOC\_THETA$
- 估算器角度  $FOC\_ETHETA$ ，估算速度  $FOC\_EOME$
- d 轴电压  $FOC\_UD$ ，q 轴电压  $FOC\_UQ$
- d 轴电流  $FOC\_ID$ ，q 轴电流  $FOC\_IQ$
- $\alpha$  轴电压  $FOC\_VALP$ ， $\beta$  轴电压  $FOC\_VBET$
- 母线电压  $FOC\_UDCFLT$
- 三相电流  $FOC\_IA$ 、 $FOC\_IB$ 、 $FOC\_IC$  和三相电流最大值  $FOC\_IAMAX$ 、 $FOC\_IBMAX$ 、 $FOC\_ICMAX$
- $\alpha$  轴电流(等于  $FOC\_IA$ )， $\beta$  轴电流  $FOC\_IBET$
- $\alpha$  轴反电动势  $FOC\_EALP$ ， $\beta$  轴反电动势  $FOC\_EBET$
- 反电动势幅值  $FOC\_EMF$
- 电机功率  $FOC\_POW$

### 14.1.9.1 顺风逆风检测

FOC 提供专用的顺风逆风检测功能。配置 FOC\_CR0[ESCMS] = 1，同时配置电流指令 FOC\_IDREF、FOC\_IQREF 均为 0，并启动 FOC 模块，通过估算角度 FOC\_\_ETHETA 和估算速度 FOC\_\_EOME 的值可判断电机的状态。当 FOC\_\_ETHETA 向下递减或 FOC\_\_EOME 为负值，为逆风转动状态，需要先刹车，再以爬坡强制角度启动电机。当 FOC\_\_ETHETA 向上递增或 FOC\_\_EOME 为正值，为顺风转动状态，可直接使用估算器强制角度启动电机。

### 14.1.9.2 反电动势检测

估算器根据输入的电机参数估算出  $\alpha$  轴反电动势 FOC\_\_EALP 和  $\beta$  轴反电动势 FOC\_\_EBET，并计算向量的模长 FOC\_\_EMF。用户可根据 FOC\_\_EMF 的值判断电机的状态，实现堵转保护、缺相保护等功能。

### 14.1.9.3 电机功率

FOC 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。

## 14.2 FOC 寄存器

### 14.2.1 FOC\_CR0 (0x409F)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	OMIF	RSV	MERRS		RSV		ESCMS	EDIS
类型	R	-	R/W	R/W	-	-	R/W	R/W
复位值	0	-	0	0	-	-	0	0
位	名称	描述						
[7]	OMIF	omega < FOC_EFREQMIN 标志位，即使 FOC_CR1[EFAE] 不为 1，该标志位依然生效 0: omega ≥ FOC_EFREQMIN 1: omega < FOC_EFREQMIN						
[6]	RSV	保留						
[5:4]	MERRS	滑膜算法的最大误差选择 00: 0.5 01: 0.25 10: 0.125 11: 1.0						
[3:2]	RSV	保留						
[1]	ESCMS	角度输出模式选择 0: 内部测试模式 1: 推荐模式						
[0]	EDIS	禁止 FOC__EALP/FOC__EBET 自动计算 0: 不禁止 1: 禁止						

**14.2.2 FOC\_CR1 (0x40A0)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	STEPEN	EFAE	VABSEL	RSV	CSM		RSV	
类型	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W	-	-
复位值	0	0	0	-	0	0	-	-
位	名称	描述						
[7]	STEPEN	见步进控制器章节 FOC_CR1 (0x40A0) 说明						
[6]	EFAE	估算器强制角度使能 使能后, 角度由估算器强制给出, 并自动切换到估算器估算角度 0: 不使能 1: 使能						
[5]	VABSEL	见步进控制器章节 FOC_CR1 (0x40A0) 说明						
[4]	RSV	保留						
[3:2]	CSM	电流采样模式 00: 单电阻采样 01: 双电阻采样 10: 新单电阻采样 11: 三电阻采样  注: 新单电阻采样在低占空比输出比在高占空比输出效果较好, 用户可根据占空比切换单电阻采样和新单电阻采样模式, 并更改 FOC_TSMIN						
[1:0]	RSV	保留						

**14.2.3 FOC\_CR2 (0x40A1)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	ICLR	F5SEG	DSS	CSOC		UQD	UDD
类型	-	W1	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	ICLR	FOC_IAMAX/FOC_IBMAX/FOC_ICMAX 清 0 0: 无意义 1: 对 FOC_IAMAX/FOC_IBMAX/FOC_ICMAX 清 0 后该位自动清 0						
[5]	F5SEG	SVPWM 模式选择 0: 7 段式 SVPWM 1: 5 段式 SVPWM (单电阻电流采样模式禁止选择)						
[4]	DSS	双/三电阻电流采样模式 0: 顺序采样模式, 一个载波周期采样两相电流 1: 交替采样模式, 每个载波周期采样一相电流, 相邻两个周期交替采样两相电流, FOC 运算在每个载波周期进行一次。						
[3:2]	CSOC	电流采样偏置校准 配置该位, 选择 FOC_CS0 写入的校准值。单电阻采样时, 配置为 00 或 11 对 itrip 校准。双电阻采样时, 配置为 01 对 ia 校准, 配置为 10 对 ib 校准。三电阻采样时, 配置为 01 对 ia 校准, 配置为 10 对 ib 校准, 配置 00 或 11 对 ic 校准。 00: itrip 和 ic 01: ia 10: ib 11: itrip 和 ic						

[1]	UQD	q 轴 PI 控制器禁止, 禁止时, FOC_UQ 的值不再由 PI 控制器更新 0: 不禁止 1: 禁止
[0]	UDD	d 轴 PI 控制器禁止, 禁止时, FOC_UD 的值不再由 PI 控制器更新 0: 不禁止 1: 禁止

#### 14.2.4 FOC\_CR3 (0x409E)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	EFAM	TAMD	MFP_EN	FOC_THEC OMP_DIS	FOCFEN	MFP_MD	TSMINH9	TSMINH8
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	EFAM	OMEGA 启动强制使能 当 FOC_CR1[EFAE] = 0 且 FOC_CR3[EFAM] = 1 时, 将 FOC_OMEGA 固定为 FOC_EFREQHOLD 0: 不使能 1: 使能						
[6]	TAMD	角度计算方法 使用 atan(ealpha/ebeta) 得到的角度作为 FOC_THETA 0: 不使能 1: 使能						
[5]	MFP_EN	自适应观测器使能 0: 不使能 1: 使能						
[4]	FOC_THECOMP _DIS	不加补偿角算法使能, 使能后, 即使选择 SMO 或者 AO 算法, 角度也不会补偿 26.5° 0: 不使能 1: 使能						
[3]	FOCFEN	FOC 强制使能, 在 DRV_CRO[MESEL] = 1 的前提下, 即使 DRV_CRO[OCS] = 0, FOC 强制计算 0: 不使能 1: 使能						
[2]	MFP_MD	自适应观测器计算防溢出使能 0: 不使能 1: 使能, 高速(一个电周期只有 12 个载波周期)且大电流情况下, 但内部计算精度降低						
[1:0]	TSMINH	FOC_TSMIN 扩大两位, 与 0x40a2 寄存器组成 10 位数据						

#### 14.2.5 FOC\_CR4 (0x409D)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	DEL_MAN_EN	RSV		KSLIDE		UDQ_CPS _SEL	SAM_MD
类型	-	R/W	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						

[6]	DEL_MAN_EN	角度差手动使能 使能后, 角度差不再由估算器得到, 需要用户手动填入, 用于特殊算法扩展 0: 不使能 1: 使能
[5:4]	RSV	保留
[3:2]	KSLIDE	KSLIDE 选择 00: 0.85 01: 0.25 10: 0.5 11: 0.75
[1]	UDQ_CPS_SEL	选择 FOC_UDQCPS 的补偿对象 0: 补偿 UD 1: 补偿 UQ
[0]	SAM_MD	三电阻电流采样模式下, 采样窗口不够的处理方式选择 0: 模式 1 1: 模式 2

#### 14.2.6 FOC\_TSMIN (0x40A2)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_TSMIN							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_TSMIN	单电阻采样模式下: 电流采样最小窗口 双三电阻采样模式下: 死区补偿值 取值范围[0, 255] $T_{SMIN} = \text{采样窗口 } T_{window} + \text{死区时间 } T_{DT}$ 例: $T_{window} = 1\mu s, T_{DT} = 1\mu s, T_{SMIN} = 2\mu s$ , 载波周期为 $62.5\mu s$ , $FOC\_TSMIN = (1 + 1)/62.5 * 4096 = 131$ 新单电阻采样模式下: 电流采样最小窗口 $T_{SMIN} = \text{采样窗口 } T_{window} + \text{死区时间 } T_{DT}$ 例: $T_{window} = 1\mu s, T_{DT} = 1\mu s, T_{SMIN} = 2\mu s, FOC\_TSMIN = (1 + 1) * 24 = 48$						

#### 14.2.7 FOC\_TGLI (0x40A3)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_TGLI							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_TGLI	上桥导通窄脉冲消除 此功能用于高压应用, 高压 Pre-driver 的上桥有最小导通脉冲必须大于一定值的要求。设置此寄存器, 导通脉冲小于设定值时不导通。 取值范围[0, 255]  例: 消除小于 $1\mu s$ 的窄脉冲, 死区时间 $T_{DT} = 1\mu s$ , 载波周期为 $62.5\mu s$ $FOC\_TGLI = (1 + 1)/62.5 * 4096 = 131$						

**14.2.8 FOC\_TBLO (0x40A4)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_TBLO							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_TBLO	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 FOC_TBLO，则不采样该相的电流，采用特殊处理得到电流。 取值范围[0, 255] 例：下桥导通时间小于 1 $\mu$ s 不采样，FOC_TBLO = 1000ns/50ns = 20						

**14.2.9 FOC\_TRGDLY (0x40A5)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_TRGDLY							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_TRGDLY	电流采样时间配置 当 FOC_TRGDLY = 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/新单电阻采样模式：矢量 000 中点(Driver 计数值为 0) 取值范围[-128, 127] 单电阻采样模式：如 FOC_TRGDLY = 5，则延迟 5*T = 208ns；FOC_TRGDLY = 0xFB（补码）或 FOC_TRGDLY = -5，则提前 208ns 双/三/新单电阻采样模式：如 FOC_TRGDLY = 0x85（最高位符号位，剩下 7 位为绝对值），则当 Driver 计数器向下计数，在下溢事件前 5*T = 208ns 进行采样；如 FOC_TRGDLY = 5，则当 Driver 计数器向上计数，在下溢事件后 5*T = 208ns 进行采样。						

**14.2.10 FOC\_CSO (0x40A6, 0x40A7)**

FOC_CSOH(0x40A6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_CSO[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	1	0	0	0	0	0	0
FOC_CSOL(0x40A7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_CSO[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_CSO	电流采样偏置 配置 FOC_CR2[CSOC]，校准单电阻采样模式的 itrip，双电阻采样模式的 ia，ib，三电阻采样模式的 ia，ib，ic。 取值范围[0, 32767]，最高位恒为 0 例：ADC 的电压范围 0V ~ 5V，基准为 2.5V 则 FOC_CSO = 2.5V/5V*32768 = 16384(0x4000)						

**14.2.11 FOC\_EOMELPF (0x40AA, 0x40AB)**

FOC_EOMELPFH (0x40AA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EOMELPF[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EOMELPFL (0x40AB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EOMELPF[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EOMELPF	低通滤波后的估算器估算速度 滤波系数为 FOC_EOMEKLPF, LPF 的计算频率为载波周期 取值范围[-32768, 32767]						

**14.2.12 FOC\_\_EMF (0x40AE, 0x40AF)**

FOC__EMFH (0x40AE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__EMF[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__EMFL (0x40AF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__EMF[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__EMF	估算器估算的反电动势 等于 FOC__EALP 的平方加 FOC__EBETA 的平方开根号 取值范围[0, 32767]						

**14.2.13 FOC\_THECOMP (0x40AE, 0x40AF)**

FOC_THECOMPH (0x40AE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_THECOMP[15:8]							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_THECOMPL (0x40AF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_THECOMP[7:0]							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						

[15:0]	FOC_THECOMP	角度补偿值 估算器估算角度 FOC__ETHETA 再加上补偿值作为估算器最终输出角度 FOC__THETA, 格式与 FOC__THETA 一致 取值范围[-32768, 32767]
--------	-------------	---

#### 14.2.14 FOC\_\_OMEEST (0x40B0, 0x40B1)

FOC__OMEESTH (0x40B0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__OMEEST[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__OMEESTL (0x40B1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__OMEEST[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__OMEEST	FOC 估算器计算速度值 取值范围[0, 32767]						

#### 14.2.15 FOC\_\_UD (0x40B8, 0x40B9)

FOC__UDH (0x40B8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__UD[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__UDL (0x40B9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__UD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__UD	d 轴 PI 控制器算出的 d 轴电压 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.16 FOC\_\_UQ (0x40BA, 0x40BB)

FOC__UQH (0x40BA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__UQ[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__UQL (0x40BB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__UQ[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC_UQ	q 轴 PI 控制器算出的 q 轴电压 取值范围[-32768, 32767]

#### 14.2.17 FOC\_ID (0x40BC, 0x40BD)

FOC_IDH(0x40BC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_ID[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_IDL(0x40BD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_ID[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_ID	采样电流经过坐标变换得到的 d 轴电流 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.18 FOC\_IQ (0x40BE, 0x40BF)

FOC_IQH(0x40BE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_IQ[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_IQL(0x40BF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_IQ[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_IQ	采样电流经过坐标变换得到的 q 轴电流 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.19 FOC\_IBET (0x40C0, 0x40C1)

FOC_IBETH(0x40C0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_IBET[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_IBETL(0x40C1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_IBET[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__IBET	采样电流经过坐标变换得到的β轴电流 取值范围[-32768, 32767]

#### 14.2.20 FOC\_\_VBET (0x40C2, 0x40C3)

FOC__VBETH(0x40C2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__VBET[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__VBETL(0x40C3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__VBET[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__VBET	FOC 模块输出β轴电压 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.21 FOC\_UDQCPS (0x40C2, 0x40C3)

FOC_UDQCPSH(0x40C2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_UDQCPS[15:8]							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_UDQCPSL(0x40C3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_UDQCPS[7:0]							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_UDQCPS	d 轴/q 轴电压补偿值 PI 计算的结果 FOC__UD/FOC__UQ 与 FOC_UDQCPS 相加后送到下一模块, 根据 FOC_CR4[UDQ_CPS_SEL] 进行选择 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.22 FOC\_\_VALP (0x40C4, 0x40C5)

FOC__VALPH(0x40C4)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__VALP[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__VALPL(0x40C5)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__VALP[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__VALP	FOC 模块输出 $\alpha$ 轴电压 取值范围[-32768, 32767]

### 14.2.23 FOC\_\_IC (0x40C6, 0x40C7)

FOC__ICH(0x40C6)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__IC[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__ICL(0x40C7)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__IC[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__IC	采样获得的 C 相相电流 取值范围[-32768, 32767]						

### 14.2.24 FOC\_\_IB (0x40C8, 0x40C9)

FOC__IBH(0x40C8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__IB[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__IBL(0x40C9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__IB[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__IB	采样获得的 B 相相电流 取值范围[-32768, 32767]						

### 14.2.25 FOC\_\_IA (0x40CA, 0x40CB)

FOC__IAH(0x40CA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__IA[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__IAL(0x40CB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__IA[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__IA	采样获得的 A 相相电流 取值范围[-32768, 32767]

#### 14.2.26 FOC\_\_THETA (0x40CC, 0x40CD)

FOC__THETAH(0x40CC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__THETA[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__THETAL(0x40CD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__THETA[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__THETA	FOC 输出角度 取值范围[-32768, 32767] -32768 ~ 32767 对应-180° ~ 180° 例: FOC__THETA = 8192, 对应角度为 8192/32768*180° = 45°						

#### 14.2.27 FOC\_\_ETHETA (0x40CE, 0x40CF)

FOC__ETHETAH(0x40CE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__ETHETA[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__ETHETAL(0x40CF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__ETHETA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__ETHETA	读: 估算器输出角度(补偿 FOC__THECOMP 前的角度)格式与 FOC__THETA 一致 写: 估算器初始角度 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.28 FOC\_\_EALP (0x40D0, 0x40D1)

FOC__EALPH(0x40D0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__EALP[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__EALPL(0x40D1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__EALP[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__EALP	估算器估算的 $\alpha$ 轴反电动势 取值范围[-32768, 32767]

#### 14.2.29 FOC\_\_EBET (0x40D2, 0x40D3)

FOC__EBETH(0x40D2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__EBET[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__EBETL(0x40D3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__EBET[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__EBET	估算器估算的 $\beta$ 轴反电动势 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.30 FOC\_\_EOME (0x40D4, 0x40D5)

FOC__EOMEH(0x40D4)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__EOME[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__EOMEL(0x40D5)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__EOME[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__EOME	估算器输出速度 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.31 FOC\_\_POW (0x40D8, 0x40D9)

FOC__POWH(0x40D8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__POW[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__POWL(0x40D9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__POW[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__POW	电机功率 取值范围[-32768, 32767]

### 14.2.32 FOC\_EOMEKLPF (0x40D8)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EOMEKLPF							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7:0]	FOC_EOMEKLPF	估算器滤波估算速度 FOC_EOMELPF 的低通滤波系数 LPF 的计算频率为载波周期 范围[1, 255]对应滤波系数范围[1/32768, 255/32768]

### 14.2.33 FOC\_\_IAMAX (0x40DA, 0x40DB)

FOC__IAMAXH (0x40DA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__IAMAX[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

FOC__IAMAXL (0x40DB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__IAMAX[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC__IAMAX	A 相电流最大值 记录的 A 相电流最大值，使用时需经过一个电周期才能得到可靠的值，否则得到的值可能会偏小 电流最大值不会自动清 0，需设置 FOC_CR2[ICLR] = 1 对 FOC__IAMAX 清 0 取值范围[-32768, 32767]

### 14.2.34 FOC\_\_IBMAX (0x40DC, 0x40DD)

FOC__IBMAXH (0x40DC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__IBMAX[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

FOC__IBMAXL (0x40DD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__IBMAX[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
---	----	----

[15:0]	FOC__IBMAX	B相电流最大值 记录的B相电流最大值，使用时需经过一个电周期才能得到可靠的值，否则得到的值可能会偏小 电流最大值不会自动清0，需设置 FOC_CR2[ICLR] = 1 对 FOC__IBMAX 清0 取值范围[-32768, 32767]
--------	------------	---

### 14.2.35 FOC\_\_ICMAX (0x40DE, 0x40DF)

FOC__ICMAXH (0x40DE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__ICMAX[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__ICMAXL (0x40DF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__ICMAX[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__ICMAX	C相电流最大值 记录的C相电流最大值，使用时需经过一个电周期才能得到可靠的值，否则得到的值可能会偏小 电流最大值不会自动清0，需设置 FOC_CR2[ICLR] = 1 对 FOC__ICMAX 清0 取值范围[-32768, 32767]						

### 14.2.36 FOC\_DKP (0x4070, 0x4071)

FOC_DKPH (0x4070)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_DKP[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_DKPL (0x4071)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_DKP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_DKP	d轴PI的比例参数 取值范围[0, 32767]，最高位恒为0，Q12格式						

### 14.2.37 FOC\_EKP (0x4074, 0x4075)

FOC_EKPH (0x4074)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EKP[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EKPL (0x4075)								

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EKP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EKP	估算器的角度估算 PI 控制器的 KP 系数，最高位恒为 0，Q12 格式 取值范围[0, 32767]						

### 14.2.38 FOC\_EKI (0x4076, 0x4077)

FOC_EKIH(0x4076)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EKI[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EKIL(0x4077)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EKI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EKI	估算器的角度估算 PI 控制器的 KI 系数，最高位恒为 0，Q15 格式 取值范围[0, 32767]						

### 14.2.39 FOC\_DMAX (0x4078)

FOC_DMAX(0x4078)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_DMAX[7:0]							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_DMAX	d 轴 PI 控制器的输出最大值, 对应 FOC_UD 的高 8 位 取值范围[-128, 127]						

### 14.2.40 FOC\_DMIN (0x4079)

FOC_DMIN(0x4079)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_DMIN							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_DMIN	d 轴 PI 控制器的输出最小值, 对应 FOC_UD 的高 8 位 取值范围[-256, 255]						

**14.2.41 FOC\_EKLPFMIN (0x407A, 0x407B)**

FOC_EKLPFMINH (0x407A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EKLPFMIN/FOC_PLLKPI [15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EKLPFMINH (0x407B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EKLPFMIN/FOC_PLLKPI [7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EKLPFMIN/ FOC_PLLKPI	FOC_CR2[ESEL] = 0: 为 SMO 的反电动势低通滤波系数的最小值。当估算器算出的低通滤波系数小于该值时, 强制等于最小值, Q15 格式。 FOC_CR2[ESEL] = 1: PLL 的 PI 控制器的 KI 系数, Q15 格式 取值范围[0, 32767], 最高位恒为 0						

**14.2.42 FOC\_DKI (0x407C, 0x407D)**

FOC_DKIH (0x407C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_DKI [15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_DKIL (0x407D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_DKI [7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_DKI	d 轴 PI 的积分参数 取值范围[0, 32767], 最高位恒为 0, Q15 格式						

**14.2.43 FOC\_OMEKLPF (0x407E, 0x407F)**

FOC_OMEKLPFH (0x407E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_OMEKLPF [15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_OMEKLPFL (0x407F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_OMEKLPF [7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_OMEKLPF	估算器估算速度的低通滤波系数 最高位恒为 0, Q15 格式, 取值范围[0, 32767]						

**14.2.44 FOC\_FBASE (0x4080, 0x4081)**

FOC_FBASEH(0x4080)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_FBASE[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_FBASEL(0x4081)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_FBASE[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_FBASE	估算器的频率基准设定值 取值范围[0, 32767] $FOC\_FBASE = fbase * Ts * 32768$ 例: $fbase = 200Hz, Ts = 62.5\mu s$ , 则 $FOC\_FBASE = 200 * 0.0000625 * 32768 = 409 (0x199)$						

**14.2.45 FOC\_EFREQACC (0x4082, 0x4083)**

FOC_EFREQACCCH(0x4082)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EFREQACC[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EFREQACCL(0x4083)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EFREQACC[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EFREQACC	估算器强制角度模式的速度增量, FOC_EFREQACC 内部为 24 位, 最高位为符号位。软件写入低 16 位。取值范围[0, 65535] 例: $fbase = 200Hz$ , 极对数 $pp = 4$ , 则 $speed\_base = 60 * fbase / pp = 3000rpm$ 。设置速度增量为 $3rpm$ , 则 $FOC\_EFREQACC = 3rpm / speed\_base * 32768 * 256 = 8388 (0x20C4)$ 。						

**14.2.46 FOC\_EFREQMIN (0x4084, 0x4085)**

FOC_EFREQMINH(0x4084)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EFREQMIN[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EFREQMINL(0x4085)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EFREQMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC_EFREQMIN	估算角度切换阈值，FOC_EFREQMIN 内部为 24 位，最高位为符号位。软件写入高 16 位 估算器强制角度模式使能，当估算速度小于该值时，输出估算器强制角度 取值范围[-32768, 32767]。 例：fbase = 200Hz，极对数 pp = 4，则 speed_base = 60*fbase/pp = 3000rpm。设置切估算速度的最小切环转速为 30rpm，则 FOC_EFREQMIN = 30rpm/speed_base*32768 = 327(0x147)。

#### 14.2.47 FOC\_EFREQHOLD (0x4086, 0x4087)

FOC_EFREQHOLDH (0x4086)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EFREQHOLD[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EFREQHOLDL (0x4087)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EFREQHOLD[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EFREQHOLD	估算器强制速度最大值，FOC_EFREQHOLD 内部为 24 位，最高位为符号位。软件写入高 16 位 当估算器估算速度小于 FOC_EFREQMIN，强制速度增加到等于该值时，不再增加 取值范围[-32768, 32767] 例：fbase = 200Hz，极对数 pp = 4，则 speed_base = 60*fbase/pp = 3000rpm。设置强制速度最大值为 60rpm，则 FOC_EFREQHOLD = 60rpm/speed_base*32768 = 655(0x028F)。						

#### 14.2.48 FOC\_EK3 (0x4088, 0x4089)

FOC_EK3H (0x4088)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EK3[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EK3L (0x4089)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EK3[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EK3	估算器估算电流的第三个系数，最高位恒为 0，Q15 格式 取值范围[0, 32767]						

**14.2.49 FOC\_QMAX (0x408A)**

FOC_QMAX (0x408A)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_QMAX[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	FOC_QMAX	q 轴 PI 控制器的输出最大值, 对应 FOC_UQ 的高 8 位 取值范围[-256, 255]						

**14.2.50 FOC\_QMIN (0x408B)**

FOC_QMIN (0x408B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_QMIN[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_QMIN	q 轴 PI 控制器的输出最小值, 对应 FOC_UQ 的高 8 位 取值范围[-256, 255]						

**14.2.51 FOC\_EK1 (0x408C, 0x408D)**

FOC_EK1H (0x408C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EK1[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EK1L (0x408D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EK1[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_EK1	估算器估算电流的第一个系数, 最高位恒为 0, Q15 格式 取值范围[0, 32767]						

**14.2.52 FOC\_EK2 (0x408E, 0x408F)**

FOC_EK2H (0x408E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_EK2[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_EK2L (0x408F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_EK2[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC_EK2	估算器估算电流的第二个系数，最高位恒为0，Q15格式 取值范围[0, 32767]

#### 14.2.53 FOC\_IDREF (0x4090, 0x4091)

FOC_IDREFH(0x4090)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_IDREF[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_IDREFL(0x4091)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_IDREF[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_IDREF	用户给定的d轴电流指令值 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.54 FOC\_IQREF (0x4092, 0x4093)

FOC_IQREFH(0x4092)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_IQREF[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_IQREFL(0x4093)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_IQREF[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_IQREF	用户给定的q轴电流指令值 取值范围[-32768, 32767]						

#### 14.2.55 FOC\_QKP (0x4094, 0x4095)

FOC_QKPH(0x4094)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_QKP[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_QKPL(0x4095)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_QKP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	FOC_QKP	q 轴 PI 控制器的 KP 系数，最高位恒为 0，Q12 格式 取值范围[0, 32767]，对应 Q12 取值范围[0, 8]

#### 14.2.56 FOC\_QKI (0x4096, 0x4097)

FOC_QKIH(0x4096)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC_QKI[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC_QKIL(0x4097)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC_QKI[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC_QKI	q 轴 PI 控制器的 KI 系数，最高位恒为 0，Q15 格式 取值范围[0, 32767]，对应 Q15 取值范围[0, 1]						

#### 14.2.57 FOC\_\_UDCFLT (0x4098, 0x4099)

FOC__UDCFLTH(0x4098)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	FOC__UDCFLT[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC__UDCFLTL(0x4099)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FOC__UDCFLT[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	FOC__UDCFLT	滤波后的母线电压 FOC 模块对母线电压采样，母线电压固定分压 1/10，滤波后得到 FOC__UDCFLT。可以选择 ADC 通道 2。 取值范围[0, 32767] 例：母线电压 1/10 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，FOC__UDCFLT 为 19661(0x4CCD)，则母线电压 = $19661/32768*5V*10 = 30V$ 。						

## 15 步进控制器

### 15.1 步进控制器说明

#### 15.1.1 步进控制器简介

步进控制器支持基于三相逆变器驱动两相步进电机的 SVPWM 模式。当 FOC\_CR1[STEPEN] = 1 时，可输出 PWM 信号驱动三相逆变器带动两相步进电机工作。该模式下的驱动拓扑结构如图 15-1 所示。

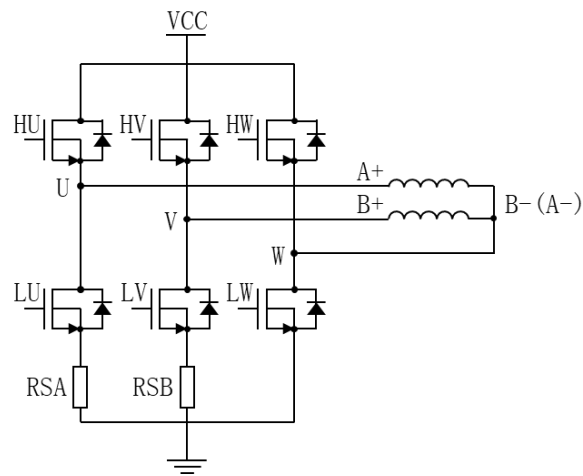


图 15-1 三相逆变器驱动两相步进电机的拓扑结构

步进控制器的系统框图如图 15-2 所示，包括角度生成器、PI 控制器、坐标转换模块、电流采样模块和 PWM 信号输出模块，可硬件实现电流闭环以调节工作效率。

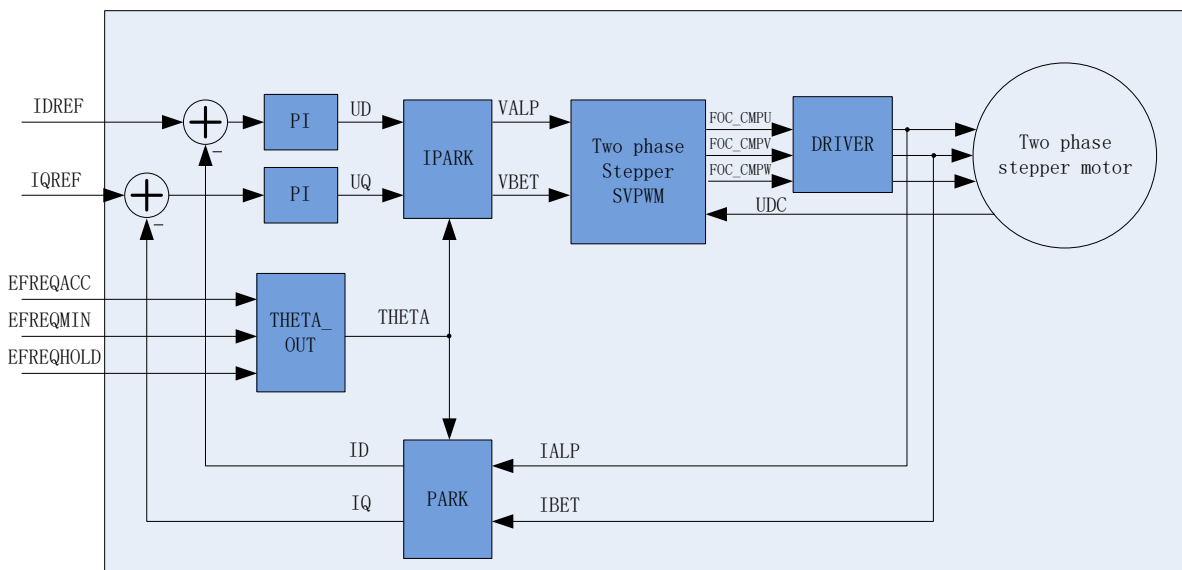


图 15-2 步进控制器系统框图

### 15.1.2 两相步进 SVPWM 原理

两相步进的两相绕组的期望电流相位差为  $90^\circ$ ，因此令 A、B 相的输入电压相位与 Alpha、Beta 轴电压保持一致。因此，用三相逆变器驱动两相步进电机时的空间电压矢量分布如图 15-3 所示。Alpha 轴电压  $U_{ALP}$  和 Beta 轴电压  $U_{BET}$  跟随角度呈正弦变化，根据矢量所在扇区计算基本矢量的作用时间，再合成得到的输出电压矢量  $U_{OUT}$ ， $U_{OUT}$  方向始终与角度保持一致，在运动过程中形成准圆形旋转磁场。

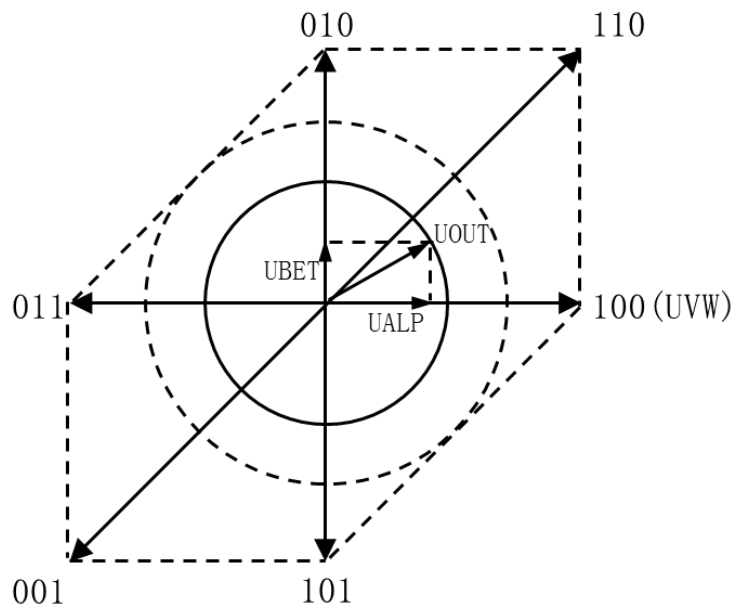


图 15-3 SVPWM 电压矢量

当  $|U_{OUT}| > 0.707U_{DC}$  时，输出将在第 3、6 扇区达到饱和，非零矢量作用时间  $t_1$  和  $t_2$  将大于 1，即两个矢量的实际作用时间将大于载波周期。因此，需对作用时间进行重新分配，以确保系统在物理上可实现。重新分配后的零矢量作用时间为： $t_1' = t_1/(t_1+t_2)$ ， $t_2' = t_2/(t_1+t_2)$ 。虽然进行了过调制处理，但在饱和区域的电压幅值已经饱和，无法再增大，所以生成的旋转磁场不再是准圆形。

### 15.1.3 角度模式

驱动步进电机时，系统运行于强拉角度模式，需设置  $FOC\_CR3[EFAM] = 1$ ，将目标转速写入  $FOC\_EFREQHOLD$ ，步进电机运行过程中角度将基于该速度进行累加。

若启动时要进行爬坡，先设置  $FOC\_CR1[EFAE] = 1$ ，再设置  $FOC\_CR3[EFAM] = 1$ 。若先将  $EFAM$  置 1 则  $FOC\_EFREQHOLD$  会直接写入到内部速度中，导致越过爬坡过程。爬坡的速度增量

写入 FOC\_EFREQACC 中，目标转速写入 FOC\_EFREQMIN 和 FOC\_EFREQHOLD 中，相关寄存器定义参照 FOC 章节。爬坡结束后 FOC\_CR1[EFAE]将自动置 0。

#### 15.1.4 死区补偿

两相步进模式下提供了基于相电流进行死区补偿的功能。为解决死区导致的电压波形畸变，步进控制器将根据电流检测结果对输出比较值进行补偿，使相电压的占空比与理想 PWM 保持一致。

#### 15.1.5 Alpha/Beta 轴电压幅值补偿

步进控制器提供了单独对 Alpha 或 Beta 轴电压进行幅值补偿的功能，以应对电机两相电流幅值大小不一致的情况。使用该功能时，通过 FOC\_CR1[VABSEL]选择需要进行补偿的电压，若为 0 则补偿 UALP，若为 1 则补偿 UBET。补偿的比例由 ST\_VABK 决定，若为 0 则不进行补偿操作，否则处理后的电压  $Ux' = Ux * ST\_VABK / 256$ ，其中 x 为 ALP 或 BET。

#### 15.1.6 Beta 轴电压相位补偿

该功能可改变 Alpha 轴和 Beta 轴电压的相位差。该功能通过配置 ST\_BPCOMP 实现，在 ST\_BPCOMP 为 0 时不做补偿，此时 Alpha 轴电压的相位将超前 Beta 轴电压 90 度；若 ST\_BPCOMP 不为 0，Beta 轴电压的滞后角度为  $(90 - ST\_BPCOMP / 32767 * 180)$  度。

#### 15.1.7 电机实时参数

步进控制器驱动电机运行时，用户可实时查看电机的实时参数判断电机的运行状态。FOC 模块提供的实时参数有：

- 输出角度值 FOC\_\_THETA
- 估算器角度 ST\_\_ETHETA，估算速度 ST\_\_OMEEST
- d 轴电压 FOC\_\_UD，q 轴电压 FOC\_\_UQ
- d 轴电流 FOC\_\_ID，q 轴电流 FOC\_\_IQ
- $\alpha$  轴电压 FOC\_\_VALP， $\beta$  轴电压 FOC\_\_VBET
- 母线电压 FOC\_\_UDCFLT
- 两相电流 FOC\_\_IA、FOC\_\_IB 和两相电流最大值 FOC\_\_IAMAX、FOC\_\_IBMAX
- $\alpha$  轴反电动势 FOC\_\_EALP， $\beta$  轴反电动势 FOC\_\_EBET
- 反电动势幅值 FOC\_\_EMF
- 电机功率 FOC\_\_POW

## 15.2 步进控制器寄存器

### 15.2.1 FOC\_CR1 (0x40A0)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	STEPEN	EFAE	VABSEL	RSV	CSM		RSV	
类型	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W	-	-
复位值	0	0	0	-	0	0	-	-
位	名称	描述						
[7]	STEPEN	两相步进控制器使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	EFAE	估算器强制角度使能 使能后, 角度由估算器强制给出, 并自动切换到估算器估算角度, 驱动步进电机时需将该位置 1。 0: 不使能 1: 使能						
[5]	VABSEL	两相步进 Alpha/Beta 轴电压幅值补偿选择位 0: 补偿 Valpha 1: 补偿 Vbeta						
[4]	RSV	保留						
[3:2]	CSM	见 FOC 章节 FOC_CR1 (0x40A0) 说明						
[1:0]	RSV	保留						

### 15.2.2 ST\_VABK (0x40D8)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ST_VABK							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	ST_VABK	仅在步进模式 FOC_CR1[STEPEN] = 1 下有效, 正常 FOC 中仍为 FOC_EOMEKLPF。Alpha/Beta 轴缩放系数, 取 0 时不缩放, 否则输入到 SVPWM 模块的 x 轴电压 $V_{x\_d} = V_x * VAB\_K / 256$ ( $x = \text{Alpha}, \text{Beta}$ )。						

### 15.2.3 ST\_BPCOMP (0x40AE)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ST_BPCOMP							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	ST_BPCOMP	Beta 轴电压的补偿角度。ST_BPCOMP = 0 时不做补偿, 此时 Alpha 轴电压的相位将超前 Beta 轴电压 90 度; 若 ST_BPCOMP != 0, Beta 轴电压的滞后角度为 $(90 - ST\_BPCOMP = 0 / 32767 * 180)$ 度。						

**15.2.4 ST\_DZCOMP (0x40A2)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ST_DZCOMP							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[7:0]	ST_DZCOMP	步进模式下为死区补偿值，建议值为(DRV_DTR + 1)/2，为0时不补偿。						

**15.2.5 ST\_\_ETHETA(0x40AA, 0x40AB)**

ST__ETHETAH (0x40AA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ST__ETHETA[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ST__ETHETAL (0x40AB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ST__ETHETA[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[15:0]	ST__ETHETA	步进模式下为 SMO 估算得到的角度，FOC__THETA 和 FOC__ETHETA 在强拉模式下均输出强拉角度。						

**15.2.6 ST\_\_OMEEST(0x40B0, 0x40B1)**

ST__OMEESTH (0x40B0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ST__OMEEST[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ST__OMEESTL (0x40B1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ST__OMEEST[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>位 名称 描述</b>								
[15:0]	ST__OMEEST	步进模式下为 SMO 估算得到的速度，FOC__EOME 在强拉模式下由 FOC_EFREQHOLD 经过低通滤波得到。						

## 16 Timer1

### 16.1 Timer1 操作说明

Timer1 包含一个 16 位向上计数的基本计数器和一个 16 位向上计数的重载计数器。Timer1 主要用于 BLDC 电机方波驱动。Timer1 具有如下特性:

- 16 位向上计数的基本计数器用于记录两次位置检测或两次换相之间的时间(即 60 度时间),也可用于位置检测失败时强制换相的时间。
- 16 位向上计数的重载计数器用于控制位置检测成功到换相的时间,以及换相后的续流屏蔽时间(禁止位置检测时间)。
- 3 位可编程分频器对系统时钟进行分频,分频时钟作为两个计数器的时钟源
- 位置检测信号的滤波和采样延迟可配置
- 位置检测模块根据输入信号产生换相所需的位置信号
- 7 组状态寄存器控制比较器和输出
- 7 个中断源

Timer1 内部结构如图 16-1 所示。

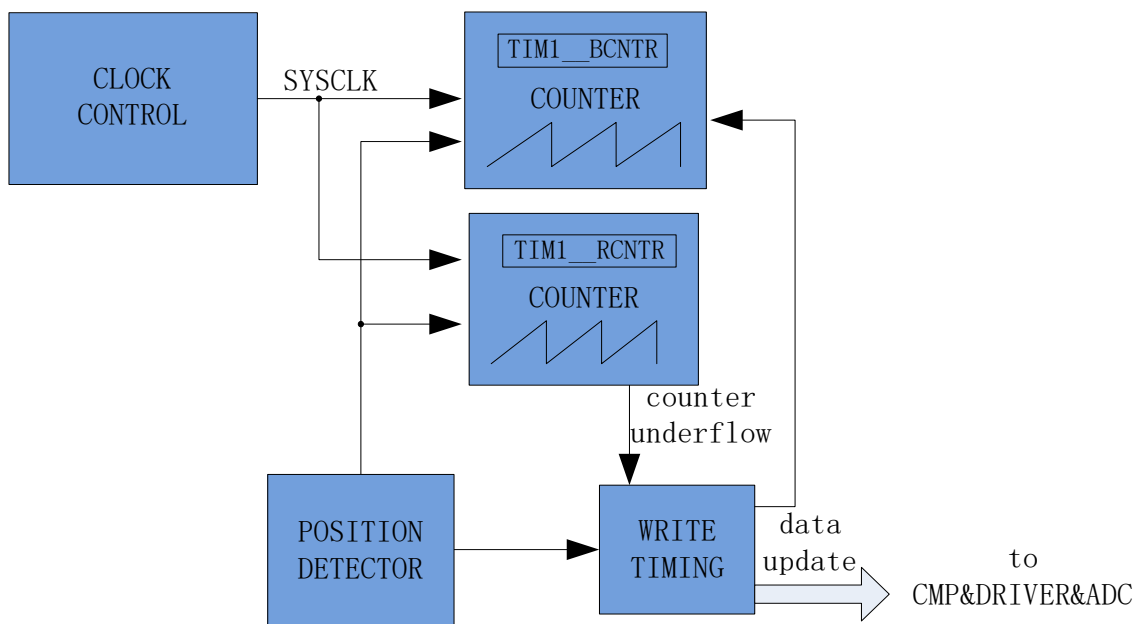


图 16-1 Timer1 内部结构

### 16.1.1 Timer1 计数单元

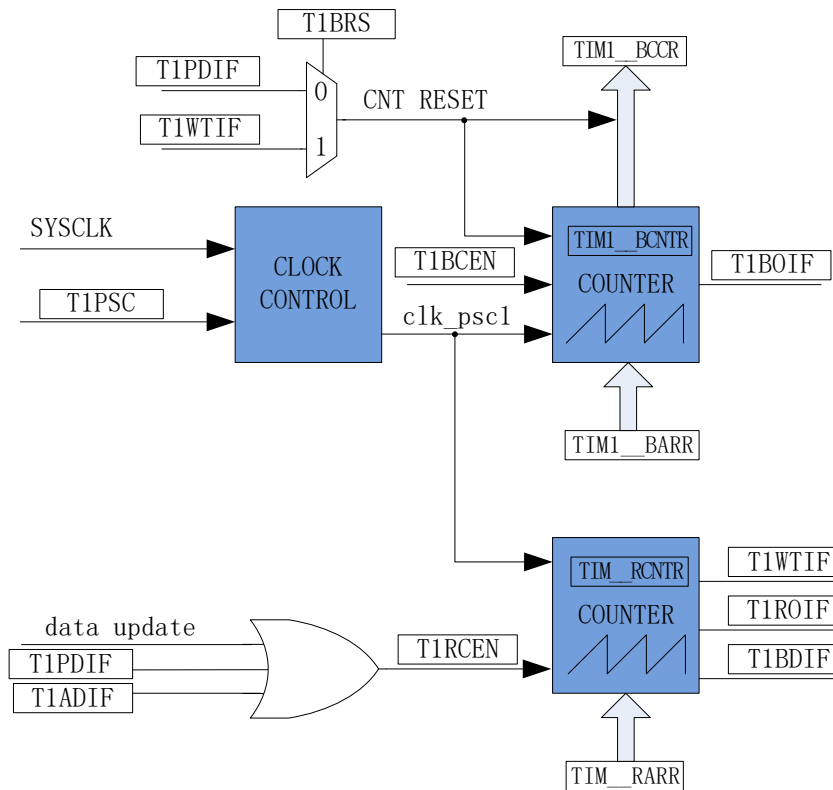


图 16-2 时基单元

Timer1 包含一个分频器，一个 16 位向上计数的基本计数器，一个 16 位向上计数的重载计数器。

#### 16.1.1.1 分频器

分频器对系统时钟进行分频，产生基本计数器和重载计数器的计数时钟源。分频器由 TIM1\_CR3[T1PSC] 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和重载计数器都不工作时更新分频系数。时钟源的频率为  $clk\_psc1 = SYSCLK / (2^{TIM1\_CR3[T1PSC]})$ 。分频后的时钟源频率与 TIM1\_CR3[T1PSC] 的关系如表 16-1 所示。

表 16-1 分频后的寄存器 TIM1\_CR3[T1PSC] 不同值对应的时钟频率

TIM1_CR3[T1PSC]	分频系数	clk_psc1 (Hz)	TIM1_CR3[T1PSC]	分频系数	clk_psc1 (Hz)
000	1	20M	100	16	1.25M
001	2	10M	101	32	625k
010	4	5M	110	64	312.5k
011	8	2.5M	111	128	156.25k

### 16.1.1.2 基本计数器

基本计数器为一个 16 位向上计数的计数器，计数值为 TIM1\_BCNTNTR。当位置检测中断 INT\_SR0[T1PDIF]或者是写入时序中断 INT\_SR0[T1WTIF](由 TIM1\_CR2[T1BRS]选择)产生时，TIM1\_BCNTNTR 当前的计数值被存进捕获寄存器 TIM1\_BCCR，同时 TIM1\_BCNTNTR 清 0 并重新开始计数。TIM1\_BCCR 记录的数为两次位置检测中断或两次写入时序中断之间的时间(即 60 度的时间)。该时间可经过多次求平均后作为 60 度基准存入 TIM1\_BCOR 寄存器，次数通过 TIM1\_CR0[T1CFLT]设定。当 TIM1\_BARR 自动装载使能(TIM1\_CR1[BAPE] = 1)时，TIM1\_BCOR 的值被转入 TIM1\_BARR 寄存器。当 TIM1\_BCNTNTR 计数值等于 TIM1\_BARR 时，基本计数器上溢中断事件标志位 INT\_SR0[T1BOIF]置 1。如果使能强制换相，则产生换相动作，基本计数器清 0。如果不使能强制换相，则基本计数器不会清 0，一直计数到 0xFFFF 溢出后自动清 0。

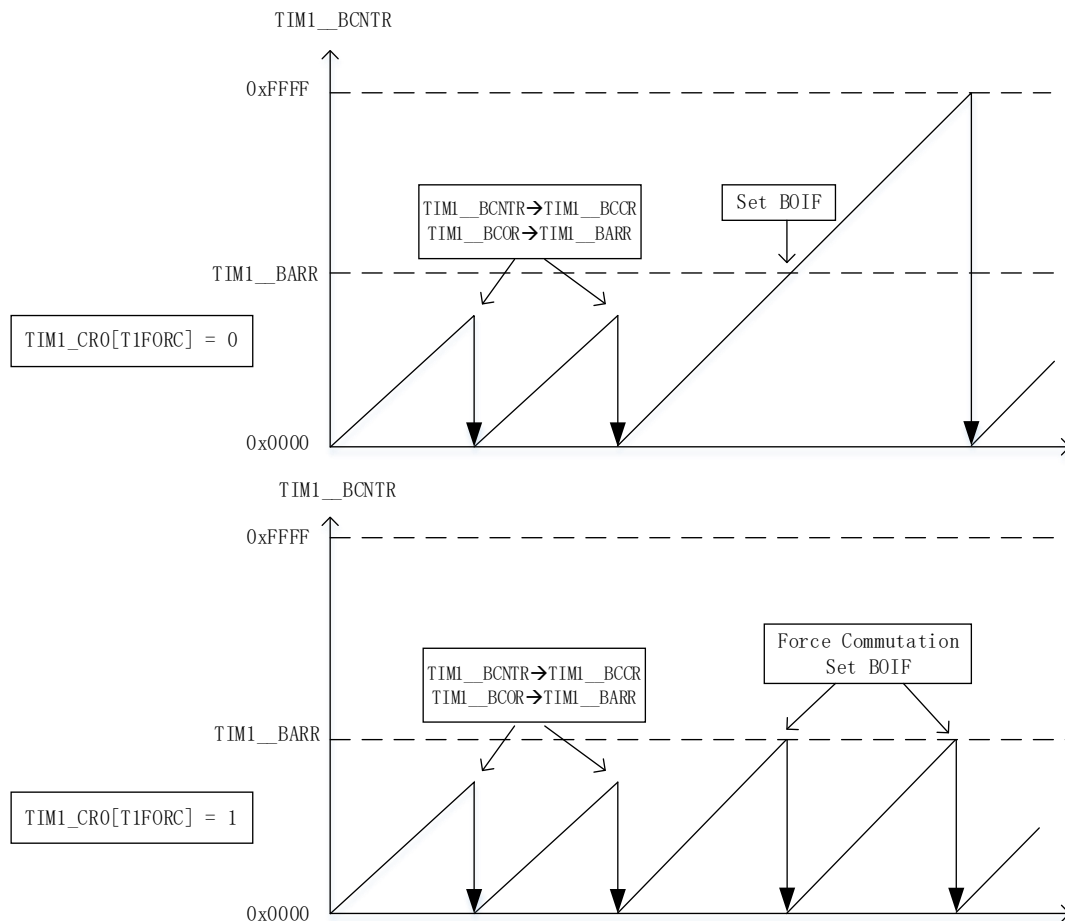


图 16-3 基本计数器计数波形图

手动模式(TIM1\_IER[T1MAME] = 1)时，TIM1\_BCNTNTR 不再由 TIM1\_CR2[T1BRS]控制复位，而是由基本计数器上溢事件复位。

### 16.1.1.3 重载计数器

重载计数器包含一个 16 位向上计数的计数器，计数值为  $TIM1\_RCNTR$ 。当计数到  $TIM1\_RARR$  的设定值时，产生上溢事件，重载计数器上溢中断事件标志位  $INT\_SR0[T1ROIF]$  置 1， $TIM1\_RCNTR$  清 0，此时使能位  $TIM1\_CR0[T1RCEN]$  被清 0，重载计数器停止动作。位置检测中断和写入时序中断可将  $TIM1\_CR0[T1RCEN]$  置 1，重载计数器自动重新开始计数。

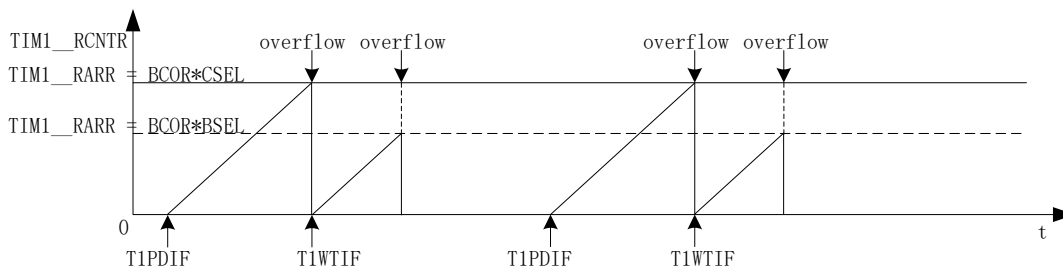


图 16-4 重载计数器计数波形图

## 16.1.2 位置检测

### 16.1.2.1 位置检测信号

$TIM1\_CR3[T1TIS]$  选择位置检测信号来自  $CMP0/1/2$  (CMP 位置检测)、GPIO (Hall 传感器位置检测)、ADC (ADC 位置检测)、 $CMP0/1/2$  和 ADC (CMP 位置检测和 ADC 位置检测)。配置  $HALL\_CR[HALLSEL]$  选择 GPIO 来源于  $P1.4/P0.2/P0.3$  (功能转移后的 Hall 信号输入端口) 或  $P1.4/P0.5/P0.6$ 。 $TIM1\_CR3[T1INM]$  选择是否对 CMP/GPIO 的信号进行滤波。当位置检测成功，触发位置检测事件。位置检测事件分为 CMP/GPIO 位置检测事件和 ADC 位置检测事件。

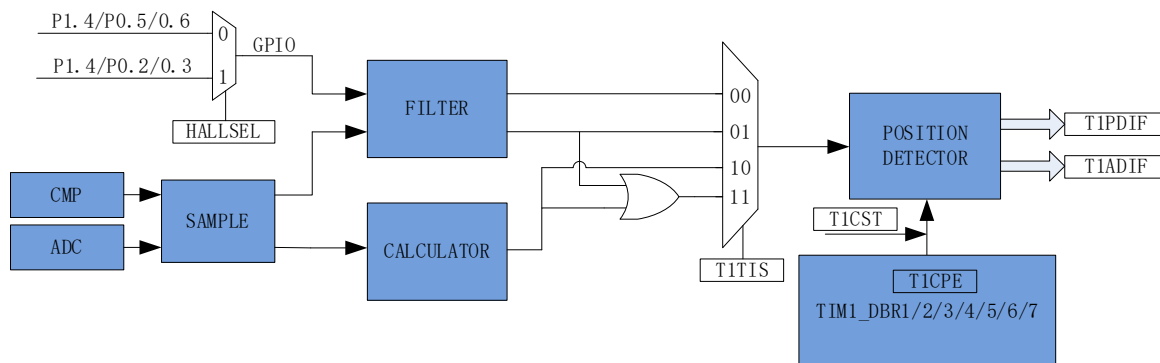


图 16-5 位置检测功能框图

### 16.1.2.2 CMP/GPIO 位置检测事件

配置寄存器组 `TIM1_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]`，选择位置检测信号的有效沿；当输入的 `CMP/GPIO` 位置检测信号的有效沿到来时，位置检测成功，`CMP/GPIO` 位置检测事件标志位 `INT_SR0[T1PDFIF]` 被置 1。`TIM1_CR4[T1CST]` 控制 `TIM1_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]` 的顺序。

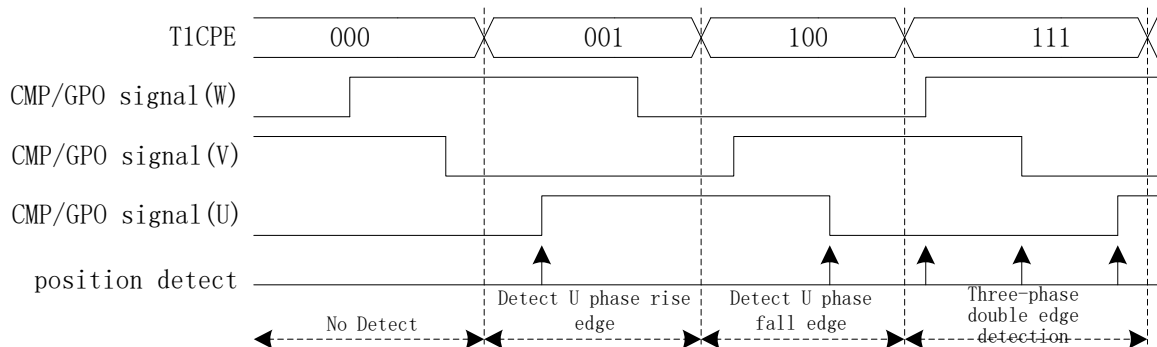


图 16-6 位置检测时序图

`TIM1_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]` 决定输入的有效沿如表 16-2 所示。

表 16-2 不同 `TIM1_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]` 下的有效沿

T1CPE	描述	T1CPE	描述
000	0	100	检测 U 相下降沿，U 相对应比较器使能
001	检测 U 相上升沿，U 相对应比较器使能	101	检测 W 相上升沿，W 相对应比较器使能
010	检测 W 相下降沿，W 相对应比较器使能	110	检测 V 相下降沿，V 相对应比较器使能
011	检测 V 相上升沿，V 相对应比较器使能	111	检测三相双沿，三相对应比较器使能

### 16.1.2.3 ADC 位置检测事件

`TIM1_CR3[T1TIS]` 选择位置检测信号输入源来自 `ADC` 时，`Timer1` 控制 `ADC` 采集导通相电压和悬空相电压，并计算如下公式：

$$TIM1\_URES = K \times TIM1\_UCOP - TIM1\_UFLP$$

其中，

`K`: `ADC` 位置检测系数

`TIM1_UCOP`: 导通相电压的 `ADC` 采样值

`TIM1_UFLP`: 悬空相电压的 `ADC` 采样值

`TIM1_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]` 决定 `K`、`TIM1_UCOP` 和 `TIM1_UFLP` 的具体含义，具体如表 16-3 所示。

表 16-3 TIM1\_DBR1/2/3/4/5/6/7[T1CPE]与  $K$ 、TIM1\_UCOP 和 TIM1\_UFLP 的关系

T1CPE	描述
000	保留
001	$K$ 为 TIM1_KR, TIM1_UCOP为 W 相电压, TIM1_UFLP为 U 相电压
010	$K$ 为 TIM1_KF, TIM1_UCOP为 U 相电压, TIM1_UFLP为 W 相电压
011	$K$ 为 TIM1_KR, TIM1_UCOP为 U 相电压, TIM1_UFLP为 V 相电压
100	$K$ 为 TIM1_KF, TIM1_UCOP为 V 相电压, TIM1_UFLP为 U 相电压
101	$K$ 为 TIM1_KR, TIM1_UCOP为 V 相电压, TIM1_UFLP为 W 相电压
110	$K$ 为 TIM1_KF, TIM1_UCOP为 W 相电压, TIM1_UFLP为 V 相电压
111	保留

当 TIM1\_URES 发生正负变化时, 触发 ADC 位置检测事件, ADC 位置检测中断事件标志位 INT\_SR0[T1ADIF]置 1。改变 ADC 位置检测系数  $K$ 可改变 ADC 位置检测事件触发的位置, 从而灵活控制换相点。

### 16.1.2.4 采样

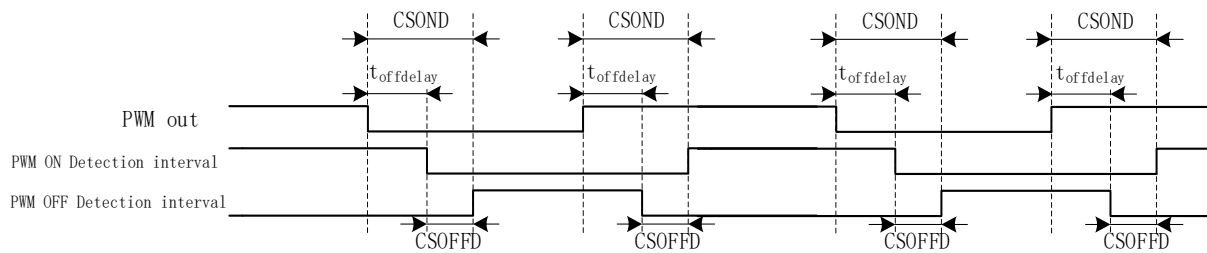


图 16-7 采样区间图

由于受到功率器件开关速度的影响, 反电动势信号滞后于芯片的 PWM 输出。通过设置 CMP\_SAMR[CSOFFD]和 CMP\_SAMR[CSOND]以及 CMP\_CR4[FAEN], 可调节反电动势采样区间以获得有效的检测信号。当 TIM1\_CR3[T1IS]设置为 01 或 10 时, Timer1 在该采样区间内使能 CMP0/1/2 输出反电动势与中性点电势的比较结果或启动 ADC 采集悬空相电压。

详细采样区间设置, 请参考 30.1.3 章节。

### 16.1.2.5 滤波

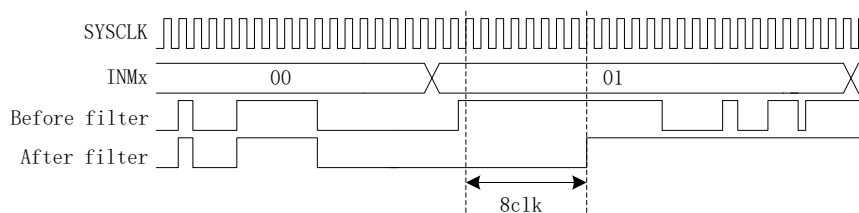


图 16-8 滤波模块时序图

滤波电路根据 TIM1\_CR3[T1INM]与 CMP\_CR4[FAEN]可选择滤除脉宽为 8/16/24/32/64/96 个时钟周期的 CMP/GPIO 的输入噪声。使能滤波功能，滤波后的信号会比滤波前的信号大概延迟 8/16/24/32/64/96 个时钟周期。

### 16.1.3 写入时序中断

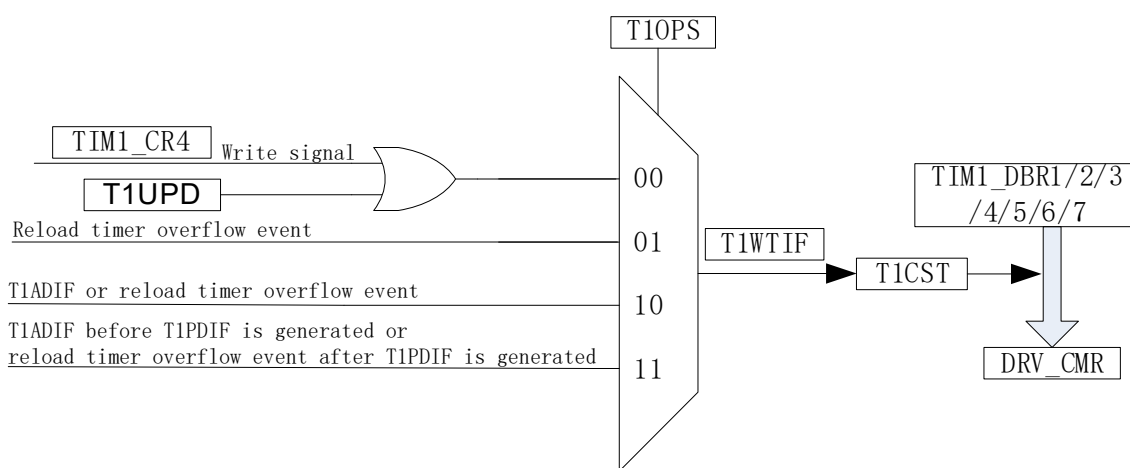


图 16-9 写入时序框图

将 TIM1\_DBR1/2/3/4/5/6/7 中预设的控制信号送入驱动模块 DRV\_CMR 后，写入时序中断触发。写入时序中断由 TIM1\_CR0[T1OPS]选择触发信号，可选择软件触发、重载计数器上溢触发或位置检测中断触发。写入时序中断发生后，写入时序中断事件标志位 INT\_SR0[T1WTIF]置 1，同时如果 TIM1\_CR4[T1CST]在 001 ~ 110 之间，TIM1\_CR4[T1CST]自动加 1。

### 16.1.4 Timer1 中断

Timer1 有 7 个中断请求源:

- 基本计数器的上溢中断
- 重载计数器的上溢中断
- 写入时序中断
- 屏蔽续流结束中断
- CMP/GPIO 位置检测中断
- ADC 位置检测中断
- 自适应续流屏蔽中断

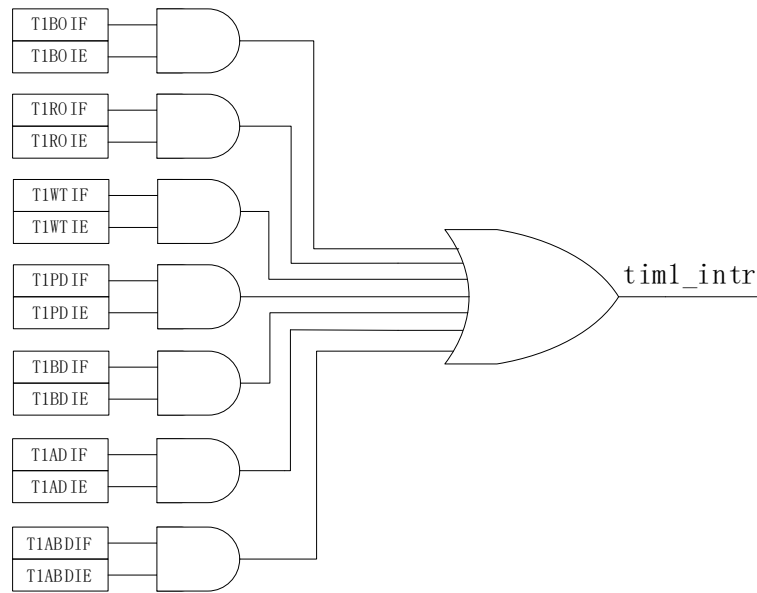


图 16-10 Timer1 中断源

## 16.2 BLDC 电机方波驱动

针对 BLDC 电机方波驱动，Timer1 配合 CMP0/1/2 和 Driver 模块实现如下功能:

- 自动记录 60 度时间，滤波后作为 60 度基准时间
- 当检测不到位置信号时，可自动强制换相
- 自动续流屏蔽，即在续流时间内，停止比较器采样
- 自动控制从位置检测成功到换相的时间，实现自动换相
- 接管 CMP\_CR2[CMP0SEL]，自动控制 CMP0/1/2
- 可设置比较器信号避开功率器件开关振铃进行采样，信号采样后可配置滤波
- 接管 DRV\_CMCR 寄存器，自动控制 6 路 PWM 输出

### 16.2.1 方波驱动的六步换相

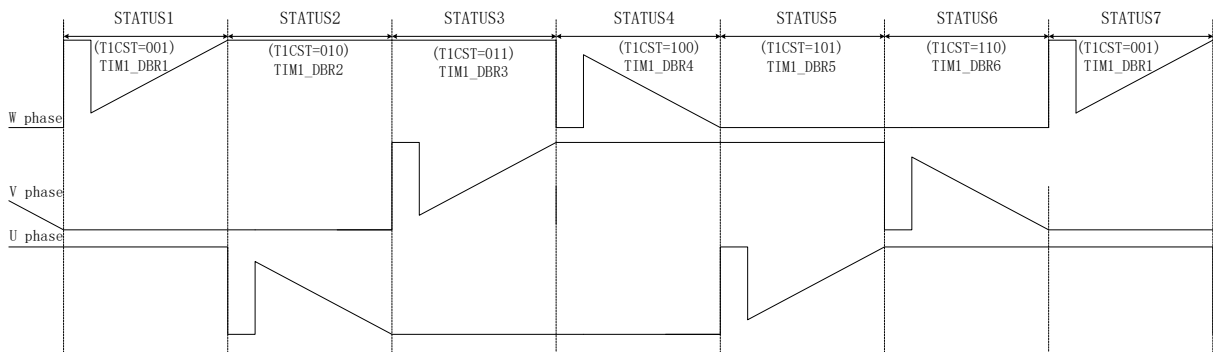


图 16-11 方波的六步换相图

TIM1\_CR4[T1CST]是换相状态机。其中状态 0 用于输出关闭状态，状态 7 可自定义，用于实现刹车，预充电，预定位，启动等功能。状态 1 ~ 6 用于六步自动换相，换相动作后，状态机 TIM1\_CR4[T1CST]自动加 1。

状态 1 ~ 7 对应 TIM1\_DBR1 ~ 7 寄存器，当写入时序中断发生时，当前状态对应的 TIM1\_DBRx 会自动传输到 DRV\_CMCR 寄存器和 CMP\_CR2[CMPOSEL]，实现换相和位置检测。

### 16.2.2 方波驱动的工作原理

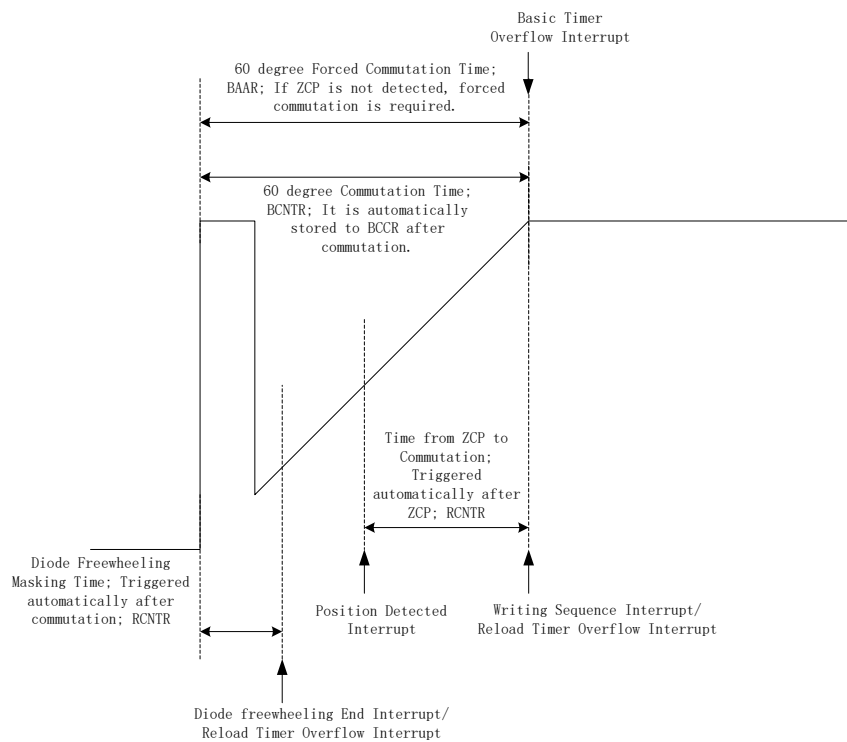


图 16-12 BLDC 的工作原理

### 16.2.2.1 60 度基准时间

TIM1\_\_BCCR 捕获上一次的 60 度时间。设置 TIM1\_CR2[T1BRS] = 0，捕获两次写入时序中断之间的时间，设置 TIM1\_CR2[T1BRS] = 1，捕获两次位置检测中断之间的时间。

TIM1\_BCOR 为滤波后的 60 度时间，即 60 度基准时间。TIM1\_CR0[T1CFLT] 可选择前 1/2/4/8 个 TIM1\_\_BCCR 平均后得到 TIM1\_BCOR。

方波驱动时，根据 60 度基准时间 TIM1\_BCOR 决定续流屏蔽时间、位置检测成功到换相的时间，以及强制换相的时间。

如果基本计数器自动装载使能(TIM1\_CR1[T1BAPE] = 1)，当基本计数器因位置检测中断或写入时序中断而复位时，TIM1\_BCOR 的值被传送到 TIM1\_\_BARR，以控制强制换相。

### 16.2.2.2 60 度强制换相

电机在平稳转动的时候，一般在换相之后的 30 度即可检测到过零点(ZCP)，产生位置检测中断。假如在换相后经过 60 度都没有检测到过零点，认为位置检测失败，需要进行强制换相。

设置 TIM1\_CR0[T1FORC] = 1 使能强制换相功能。在前一次换相时，写入时序中断使计数器 TIM1\_\_BCNTR 清 0 并重新开始计数，同时 TIM1\_\_BCCR 捕获 TIM1\_\_BCNTR 的计数值，经过滤波后，作为 60 度基准时间被保存在 TIM1\_BCOR。如果自动装载功能使能(TIM1\_CR1[T1BAPE] = 1)，基本计数器复位时 TIM1\_BCOR 的值被载入 TIM1\_\_BARR。当 TIM1\_\_BCNTR 与 TIM1\_\_BARR 比较匹配时(换相之后经过 60 度依然没有检测到过零点)，基本计数器上溢中断事件标志位 INT\_SR0[T1BOIF]置 1，进行强制换相，此时计数器 TIM1\_\_BCNTR 被清 0。(注:如果在换相后 60 度内检测到过零点，当 TIM1\_\_BCNTR > TIM1\_\_BARR 时，不会触发强制换相且 INT\_SR0[T1BOIF]不会置 1)。如果禁止强制换相功能(TIM1\_CR0[T1FORC] = 0)，当 TIM1\_\_BCNTR > TIM1\_\_BARR 时，中断事件标志位 INT\_SR0[T1BOIF]置 1，不会自动强制换相。可通过判断基本计数器上溢中断事件标志位和位置检测中断事件标志位进行手动换相。

### 16.2.2.3 定时器续流屏蔽

在换相之后，由于原来的导通相变为悬空相，此时该相的电感能量经过续流二极管释放到电源或地，在续流过程中，悬空相反电动势信号无法测量。通过屏蔽二极管续流时间内的比较器信号或 ADC 采样值，避免续流产生的错误信号引起错误换相。续流屏蔽结束，产生屏蔽续流结束中断事件标志位 INT\_SR0[T1BDIF]。

续流屏蔽时间通过 TIM1\_CR1[BSEL]设置，公式: 屏蔽角度 = TIM1\_CR1[BSEL]/128\*60°。

### 16.2.2.4 自适应续流屏蔽

无论续流时间多长，自适应续流屏蔽都能调节续流屏蔽区间，使其大于实际的续流区间，但必须配置 TIM1\_CR1[BSEL] 为非零值。自适应续流屏蔽分为 CMP 自适应续流屏蔽和 ADC 自适应续流屏蔽。CMP 自适应续流屏蔽需配置 TIM1\_KRMAX = 0、TIM1\_KFMIN ≠ 0xFF、TIM1\_CR3[T1TIS] = 01/11 以及 CMP0/1/2 相关参数。ADC 自适应续流屏蔽需配置 TIM1\_KRMAX ≠ 0、TIM1\_CR3[T1TIS] = 10/11 以及 ADC 相关参数。ADC 自适应续流屏蔽还通过 TIM1\_KRMAX 和 TIM1\_KFMIN 调节悬空相的有效电压。设置 TIM1\_KRMAX = 0，TIM1\_KFMIN = 0xFF，禁止自适应续流屏蔽。当自适应续流屏蔽结束后，自适应续流屏蔽中断标志位 INT\_SR0[ABDIF] 置 1。

### 16.2.2.5 位置检测成功到换相的角度

在换相之后检测到过零点(产生位置检测中断)，硬件根据软件设置的过零点到换相的时间开始计时。计时结束后，硬件自动换相，产生写入时序中断事件标志位 INT\_SR0[T1WTIF]。

过零点到换相的时间通过 TIM1\_CR2[CSEL] 设置，公式: 换相角度 = TIM1\_CR2[CSEL]/128\*60°。

### 16.2.2.6 逐波限流

参考章节 30.1.1.2。

## 16.3 Timer1 寄存器

### 16.3.1 TIM1\_CR0 (0x4068)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1RWEN	T1CFLT		T1FORC	T1OPS		T1BCEN	T1RCEN
类型	W1	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	T1RWEN	TIM1_CR0[T1RCEN] 写使能位 0: 无意义 1: 在操作TIM1_CR0时，TIM1_CR0[T1RWEN]必须与TIM1_CR0[T1RCEN]同时操作，TIM1_CR0[T1RCEN]才能使能和不使能。对TIM1_CR0写0x81使能TIM1_CR0[T1RCEN]，写0x80不使能TIM1_CR0[T1RCEN]。						
[6:5]	T1CFLT	60度基准时间滤波选择 00: 前1个TIM1_BCCR平均后写入TIM1_BCOR 01: 前2个TIM1_BCCR平均后写入TIM1_BCOR 10: 前4个TIM1_BCCR平均后写入TIM1_BCOR 11: 前8个TIM1_BCCR平均后写入TIM1_BCOR						

[4]	T1FORC	60度强制换相使能 0: 不使能 1: 使能  注: 在检测到过零点后, 即使使能了该位, 经过60度也不会强制换相
[3:2]	T10PS	换相触发信号选择 选择TIM1_DBRx向DRV_CM传输的触发信号 00: 软件对TIM1_IER[T1UPD]写1或向TIM1_CR4[T1CST]写入时传输 01: 重载计数器换相时间计时上溢中断触发数据传输 10: ADC位置检测事件或者重载计数器换相时间计时上溢中断触发数据传输, 由先来者触发 11: CMP位置检测事件触发前, 由ADC位置检测事件触发数据传输, CMP位置检测事件触发后, 由重载计数器换相时间计时上溢传输  注: 当TIM1_CR3[T1TIS] = 11时, 重载计数器换相时间计时由CMP位置检测事件触发
[1]	T1BCEN	基本计数器的计数器使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1RCEN	重载计数器的计数器使能 在操作TIM1_CRO时, TIM1_CRO[T1RWEN]必须与TIM1_CRO[T1RCEN]同时操作, TIM1_CRO[T1RCEN]才能使能和禁止。对TIM1_CRO写0x81使能TIM1_CRO[T1RCEN], 写0x80不使能TIM1_CRO[T1RCEN]。 位置检测中断和写入时序中断可自动使能TIM1_CRO[T1RCEN]。当重载计数器产生上溢中断后, TIM1_CRO[T1RCEN]硬件清0。 手动模式使能后, TIM1_CRO[T1RCEN]的硬件自动使能和不使能功能无效 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.2 TIM1\_CR1 (0x4069)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1BAPE	BSEL						
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	T1BAPE	TIM1_BARR自动装载使能 使能后, 当基本计数器因为位置检测中断或写入时序中断复位时, 将TIM1_BCOR存入TIM1_BARR寄存器。用于检测不到过零点时的60度强制换相TIM1_BARR的自动装载功能不受手动模式影响 0: 不使能 1: 使能						
[6:0]	BSEL	屏蔽续流角度选择 换相后屏蔽续流的角度, 在屏蔽续流的这段时间内, 不进行位置检测 公式: 屏蔽角度 = TIM1_CR1[BSEL]/128*60°  注: 手动模式下, 屏蔽续流角度功能无效						



**16.3.5 TIM1\_CR4 (0x406C)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0														
名称	RSV					T1CST																
类型	-	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W														
复位值	-	-	-	-	-	0	0	0														
位	名称	描述																				
[7:3]	RSV	保留																				
[2:0]	T1CST	换相状态机 状态机在不同的状态会对应不同的TIM1_DBRx 当TIM1_CR4[T1CST]在001 ~ 111状态, Timer1会根据TIM1_DBRx[T1CPE]自动接管CMP0/1/2的使能 当TIM1_CR4[T1CST]在001 ~ 110状态, 会在写入时序中断触发时自动循环加1  表 16-4 TIM1_CR4[T1CST]与TIM1_DBRx的对应关系																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIM1_CR4[T1CST]</th> <th>TIM1_DBRx</th> <th>TIM1_CR4[T1CST]</th> <th>TIM1_DBRx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>000</td> <td>0</td> <td>100</td> <td>TIM1_DBR4</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>TIM1_DBR1</td> <td>101</td> <td>TIM1_DBR5</td> </tr> <tr> <td>010</td> <td>TIM1_DBR2</td> <td>110</td> <td>TIM1_DBR6</td> </tr> <tr> <td>011</td> <td>TIM1_DBR3</td> <td>111</td> <td>TIM1_DBR7</td> </tr> </tbody> </table>			TIM1_CR4[T1CST]	TIM1_DBRx	TIM1_CR4[T1CST]	TIM1_DBRx	000	0	100	TIM1_DBR4	001	TIM1_DBR1	101	TIM1_DBR5	010	TIM1_DBR2	110	TIM1_DBR6	011	TIM1_DBR3	111	TIM1_DBR7
TIM1_CR4[T1CST]	TIM1_DBRx	TIM1_CR4[T1CST]	TIM1_DBRx																			
000	0	100	TIM1_DBR4																			
001	TIM1_DBR1	101	TIM1_DBR5																			
010	TIM1_DBR2	110	TIM1_DBR6																			
011	TIM1_DBR3	111	TIM1_DBR7																			

**16.3.6 TIM1\_IER (0x406D)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UPD	T1MAME	T1ADIE	T1BOIE	T1ROIE	T1WTIE	T1PDIE	T1BDIE
类型	W1	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	T1UPD	TIM1_CR0[T10PS] = 00: 软件对此位写1触发数据传输。写1后硬件自动清0						
[6]	T1MAME	手动模式使能 使能后, 基本计数器和重载计数器将作为独立的计数器。具体细节为: 基本计数器的TIM1_BCNT不再由TIM1_CR2[T1BRS]控制复位, 而是由基本计数器上溢中断复位 重载计数器的使能位TIM1_CR0[T1RCEN]不再自动清0和置1, 只通过软件操作 重载计数器的TIM1_RCNT只能由重载计数器上溢事件清0 重载计数器的TIM1_RARR不会自动更新, 只通过软件操作 0: 不使能 1: 使能						
[5]	T1ADIE	ADC 位置检测中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 ADC位置检测中断标志位见INT_SRO (0xF2)						
[4]	T1BOIE	基本计数器上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 基本计数器上溢中断标志位见INT_SRO (0xF2)						

[3]	T1ROIE	重载计数器上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 重载计数器上溢中断标志位见INT_SRO (0xF2)
[2]	T1WTIE	写入时序中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 写入时序中断标志位见INT_SRO (0xF2)
[1]	T1PDIE	CMP/GPIO位置检测中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 CMP/GPIO位置检测中断标志位见INT_SRO (0xF2)
[0]	T1BDIE	屏蔽续流结束中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 屏蔽续流结束中断标志位见INT_SRO (0xF2)

### 16.3.7 TIM1\_\_BCOR (0x4070, 0x4071)

TIM1__BCORH (0x4070)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__BCOR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__BCORL (0x4071)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__BCOR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__BCOR	捕获基本计数器计数值滤波值 TIM1__BCCR滤波后的值, 即60度时间的基准值						

### 16.3.8 TIM1\_CR5 (0x4072)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1ABDIE	T1WTS	RSV		ITRIP_DIS	UCOP_DIS	T1AFL	
类型	R/W	R/W	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	T1ABDIE	自适应续流屏蔽中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer1 自适应续流屏蔽中断标志位见 INT_SR5 (0xF7)						

[6]	T1WTS	PWM同步使能 0: 不使能 1: 使能
[5:4]	RSV	保留
[3]	ITRIP_ DIS	母线电流采样禁止 0: 不禁止 1: 禁止
[2]	UCOP_ DIS	导通相电压采样禁止 0: 不禁止 1: 禁止
[1:0]	T1AFL	ADC 采样电压计算结果滤波次数 00: 1 次 01: 2 次 10: 4 次 11: 8 次

### 16.3.9 TIM1\_DBR1 (0x4074, 0x4075)

TIM1_DBR1H(0x4074)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR1L(0x4075)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿极性和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿, 同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变, 则为位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						

[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

注：TIM1\_DBR1[T1WLE] 和 TIM1\_DBR1[T1WHE]、TIM1\_DBR1[T1VLE] 和 TIM1\_DBR1[T1VHE] 或 TIM1\_DBR1[T1ULE]和 TIM1\_DBR1[T1UHE]同时为 1 时，三相上下桥互补输出并自动插入死区时间 (TIM1\_DBR2 ~ TIM1\_DBR7 均与此同)。

### 16.3.10 TIM1\_DBR2 (0x4076, 0x4077)

TIM1_DBR2H(0x4076)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR2L(0x4077)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						

[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.11 TIM1\_DBR3 (0x4078, 0x4079)

TIM1_DBR3H(0x4078)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR3L(0x4079)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						

[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

**16.3.12 TIM1\_DBR4 (0x407A, 0x407B)**

TIM1_DBR4H(0x407A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR4L(0x407B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						

[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.13 TIM1\_DBR5 (0x407C, 0x407D)

TIM1_DBR5H(0x407C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR5L(0x407D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能						

[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.14 TIM1\_DBR6 (0x407E, 0x407F)

TIM1_DBR6H(0x407E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR6L(0x407F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						

[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.15 TIM1\_DBR7 (0x4080, 0x4081)

TIM1_DBR7H(0x4080)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV	T1CPE			T1WHP	T1WLP	T1VHP	T1VLP
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_DBR7L(0x4081)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T1UHP	T1ULP	T1WHE	T1WLE	T1VHE	T1VLE	T1UHE	T1ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	RSV	保留						
[14:12]	T1CPE	位置检测信号输入沿和比较器使能选择 用于指定位置检测输入信号的变化沿，同时控制相关比较器的使能。如输入信号发生与配置相应的跳变，则产生位置检测中断。 参考CMP/GPIO位置检测事件和表 16-2						
[11]	T1WHP	W相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						
[10]	T1WLP	W相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效						

[9]	T1VHP	V相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[8]	T1VLP	V相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[7]	T1UHP	U相上桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[6]	T1ULP	U相下桥输出极性 0: 高电平有效 1: 低电平有效
[5]	T1WHE	W相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	T1WLE	W相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[3]	T1VHE	V相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[2]	T1VLE	V相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	T1UHE	U相上桥输出使能 0: 不使能 1: 使能
[0]	T1ULE	U相下桥输出使能 0: 不使能 1: 使能

### 16.3.16 TIM1\_\_BCNTR (0x4082, 0x4083)

TIM1__BCNTRH (0x4082)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__BCNTR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__BCNTRL (0x4083)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__BCNTR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__BCNTR	基本计数器的计数值，用于60度换相时间的计数 自动模式：TIM1__BCNTR根据TIM1_CR2[T1BRS]选择复位源，TIM1__BCNTR上溢中断不会使TIM1__BCNTR重新计数 手动模式：TIM1__BCNTR上溢中断使TIM1__BCNTR重新计数						

**16.3.17 TIM1\_\_BCCR (0x4084, 0x4085)**

TIM1__BCCRH (0x4084)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__BCCR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__BCCRL (0x4085)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__BCCR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__BCCR	捕获基本计数器计数值 自动模式：当基本计数器因为位置检测中断或写入时序中断复位时，将复位前的计数值存至TIM1__BCCR。 手动模式：当基本计数器因为上溢中断复位时，将复位前的计数值存至TIM1__BCCR						

**16.3.18 TIM1\_\_BARR (0x4086, 0x4087)**

TIM1__BARRH (0x4086)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__BARR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__BARRL (0x4087)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__BARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__BARR	基本计数器的重载值 当基本计数器的计数值等于TIM1__BARR时，发生上溢中断，同时计数器清0						

**16.3.19 TIM1\_\_RARR (0x4088, 0x4089)**

TIM1__RARRH (0x4088)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__RARR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__RARRL (0x4089)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__RARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	TIM1_RARR	重载计数器的自动重载值 当重载计数器的计数值等于TIM1_RARR时，发生上溢中断，同时计数器清0 自动模式：写入时序中断产生时将续流屏蔽角度对应的数(TIM1_CR1[BSEL])更新到TIM1_RARR；位置检测中断产生时将换相角度对应的数(TIM1_CR2[CSEL])更新到TIM1_RARR。 手动模式：TIM1_RARR软件填入

### 16.3.20 TIM1\_\_RCNTR (0x408A, 0x408B)

TIM1__RCNTRH (0x408A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__RCNTR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	1	1	1	1	1	1	1
TIM1__RCNTRL (0x408B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__RCNTR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	1	1	1	1	1	1	1
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__RCNTR	重载计数器的计数值，用于续流屏蔽时间和过零点到换相时间的计数 注：手动模式时，TIM1__RCNTR只通过重载计数器上溢中断清0						

### 16.3.21 TIM1\_\_UCOP (0x408C, 0x408D)

TIM1__UCOPH (0x408C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__UCOP[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__UCOPL (0x408D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__UCOP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__UCOP	导通相电压的 ADC 采样值(次高位对齐)						

### 16.3.22 TIM1\_\_UFLP (0x408E, 0x408F)

TIM1__UFLPH (0x408E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__UFLP[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1__UFLPL (0x408F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	TIM1_UFLP[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1_UFLP	悬空相电压的 ADC 采样值(次高位对齐)						

### 16.3.23 TIM1\_\_URES (0x4090, 0x4091)

TIM1_ URESH(0x4090)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__URES[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_ URESL(0x4091)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__URES[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__URES	ADC 位置检测公式计算结果, Q15 格式						

### 16.3.24 TIM1\_KRMAX (0x4092)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1_KRMAX							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	TIM1_KRMAX	上升沿系数最大值 取值范围[0, 255]						

### 16.3.25 TIM1\_KFMIN (0x4093)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1_KFMIN							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	TIM1_KFMIN	下降沿系数最小值 取值范围[0, 255]						

### 16.3.26 TIM1\_KF (0x4094, 0x4095)

TIM1_KFH(0x4094)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1_KF[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

TIM1_KFL (0x4095)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1_KF[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1_KF	悬空相电压下降时的 ADC 位置检测系数 取值范围[0, 32767]						

### 16.3.27 TIM1\_KR (0x4096, 0x4097)

TIM1_KRH (0x4096)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1_KR[15:8]							
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_KRL (0x4097)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1_KR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1_KR	悬空相电压上升时的 ADC 位置检测系数 取值范围[0, 32767]						

### 16.3.28 TIM1\_\_ITRIP (0x4098, 0x4099)

TIM1_ITRIPH (0x4098)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM1__ITRIP[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM1_ITRIPL (0x4099)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM1__ITRIP[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM1__ITRIP	滤波后的母线电流 当 DRV_CNTR = 0 时, 硬件模块自动对母线电流采样, 滤波后供软件使用。默认使用 ADC 通道 4 取值范围[0, 32767]  注: 该值由 8 个采样的瞬间电流值平均得到						

## 17 Timer2

### 17.1 Timer2 操作说明

Timer2 共有 5 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
- QEP&RSD模式: 正交编码器&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

Timer2 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, QEP&RSD模式和步进模式, 计数时钟源为外部输入信号。
- 输入滤波模块
- 边沿检测模块
- PWM输出模块
- 中断事件

#### 17.1.1 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 TIM2\_CR0[T2PSC]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  $clk\_psc2 = T2CLK / (2^{TIM2\_CR0[T2PSC]})$ 。分频后的时钟源频率与 TIM2\_CR0[T2PSC]的关系表 17-1 所示。

表 17-1 分频后的时钟源频率与 TIM2\_CR0[T2PSC]对应关系

TIM2_CR0[T2PSC]	分频系数	clk_psc2 (Hz)	TIM2_CR0[T2PSC]	分频系数	clk_psc2 (Hz)
000	1	20M	100	16	1.25M
001	2	10M	101	32	625k
010	4	5M	110	64	312.5k
011	8	2.5M	111	128	156.25k

### 17.1.2 TIM2\_\_CNTR 的读写和计数

TIM2\_CR1[T2CEN] = 1 时, TIM2\_\_CNTR 计数。软件对 TIM2\_\_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。软件读 TIM2\_\_CNTR 时, 先读高字节, 硬件会同步将此时刻低字节缓存, 待读低字节时读取到的是缓存的数据。

### 17.1.3 输出模式

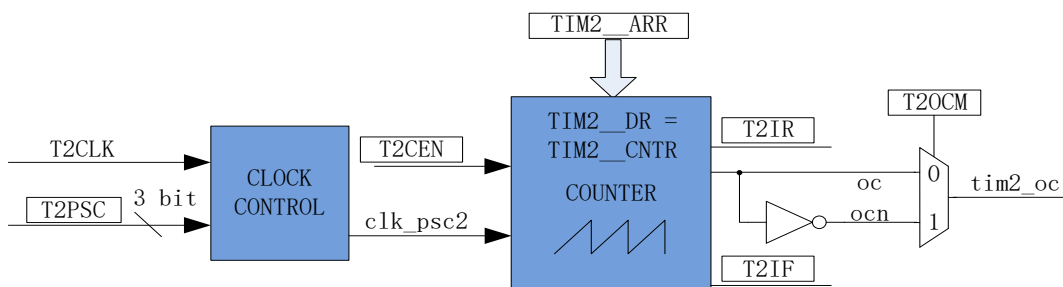


图 17-1 输出模式原理框图

基本计数器输出模式根据 TIM2\_CR0[T2OCM] 设置, 以及 TIM2\_\_CNTR 与寄存器 TIM2\_\_DR、TIM2\_\_ARR 设定值的比较结果产生输出信号, 同时产生相应中断。

#### 17.1.3.1 TIM2\_\_ARR/TIM2\_\_DR 的读写

在输出模式下, TIM2\_\_ARR/TIM2\_\_DR 包含预装载寄存器和影子寄存器。软件写 TIM2\_\_ARR/TIM2\_\_DR 寄存器时, 数据保存在预装载寄存器中, 在上溢事件 INT\_SR2[T2IF] 或基本计数器停止工作 (TIM2\_CR1[T2CEN] = 0) 时, 设定值被传递到影子寄存器中。

TIM2\_\_ARR/TIM2\_\_DR 为 16 位寄存器, 软件需先写入高字节, 再写入低字节。由硬件保证在高字节写入后至低字节写入前预装载寄存器中的数据不会被传递至影子寄存器中。

例: TIM2\_\_DR (预装载寄存器)、DR\_SH (影子寄存器), TIM2\_\_CNTR 和 DR\_SH 比较产生 PWM; 用户写 TIM2\_\_DR, TIM2\_\_DR 并不是立刻更新到 DR\_SH, 而是在一个 PWM 结束的时候, 即 TIM2\_\_CNTR 上溢时才将值更新到 DR\_SH。

#### 17.1.3.2 高/低电平输出模式

配置 TIM2\_CR0[T2OCM] = 0 时, 如果 TIM2\_\_DR > TIM2\_\_ARR, 输出信号始终为低电平。配置 TIM2\_CR0[T2OCM] = 1 时, 如果 TIM2\_\_DR > TIM2\_\_ARR, 输出比较信号始终为高电平。

### 17.1.3.3 PWM 输出

PWM 输出模式下，TIM2\_ARR 决定 PWM 周期，TIM2\_DR 决定占空比，占空比 =  $TIM2\_DR/TIM2\_ARR \times 100\%$ 。配置 TIM2\_CR0[T2OCM] = 0 时，当基本计数器 TIM2\_CNTR < TIM2\_DR 时输出低电平，反之输出高电平。配置 TIM2\_CR0[T2OCM] = 1 时，当基本计数器 TIM2\_CNTR < TIM2\_DR 时输出高电平，反之输出低电平。当计数到 TIM2\_ARR 时，输出信号反转。

### 17.1.3.4 中断事件

- 当 TIM2\_CNTR = TIM2\_DR 时，产生比较匹配事件，中断事件标志位 INT\_SR2[T2IR]置 1，基本计数器继续计数。
- 当 TIM2\_CNTR = TIM2\_ARR 时，产生上溢事件，中断事件标志位 INT\_SR2[T2IF]置 1，计数器清 0，并重新开始计数。

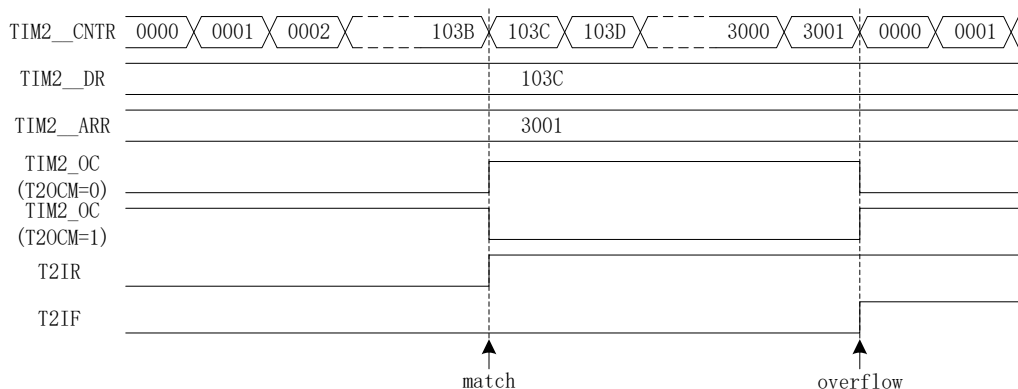


图 17-2 输出模式输出波形

### 17.1.4 输入信号滤波和边沿检测

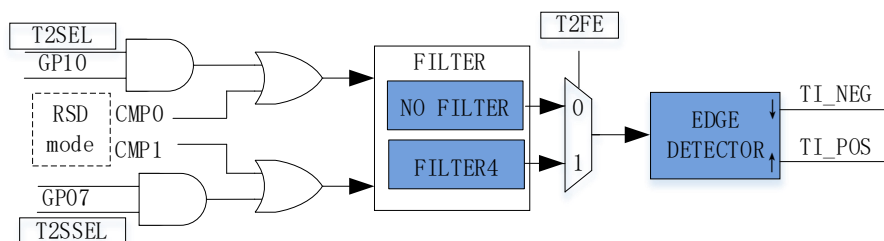


图 17-3 输入信号滤波和边沿检测框图

Timer2 的输入信号来自 P0.7 或 P1.0 端口，由 PH\_SEL[T2SEL]和 PH\_SEL[T2SSEL](参考章节 24.3.6)设定。输入时可选择是否对输入信号进行噪声滤波。

滤波电路不滤波或滤除 4 个系统时钟周期以下的输入噪声。配置 TIM2\_CR1[T2FE]可选择滤波周期。TIM2\_CR1[T2FE] = 0，不滤波；TIM2\_CR1[T2FE] = 1，按 4 个时钟周期滤波。滤波后的信号会比滤波前的信号延迟 4 个时钟周期。由 TIM2\_CR0[T2CES]选择计数的有效沿。

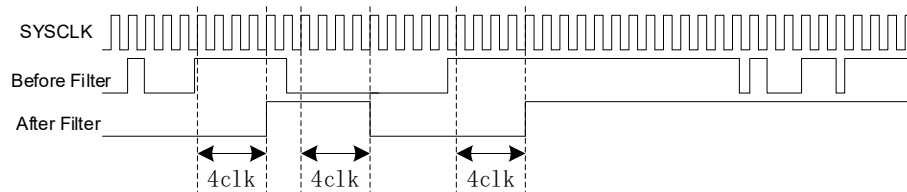


图 17-4 滤波模块时序图

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。

### 17.1.5 输入捕获模式

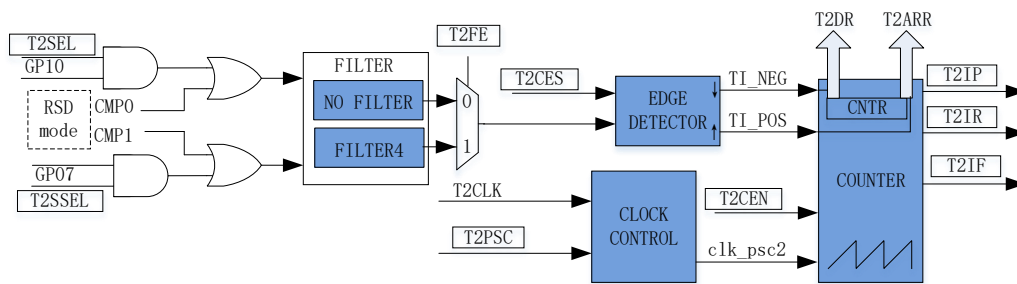


图 17-5 输入捕获模式原理框图

输入捕获模式检测 PWM 信号的占空比和周期。TIM\_CR0[T2CES] = 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)。TIM\_CR0[T2CES] = 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 TIM2\_CNTR 被分别存入 TIM2\_DR 和 TIM2\_ARR 中，用于计算 PWM 波形的周期和占空比。

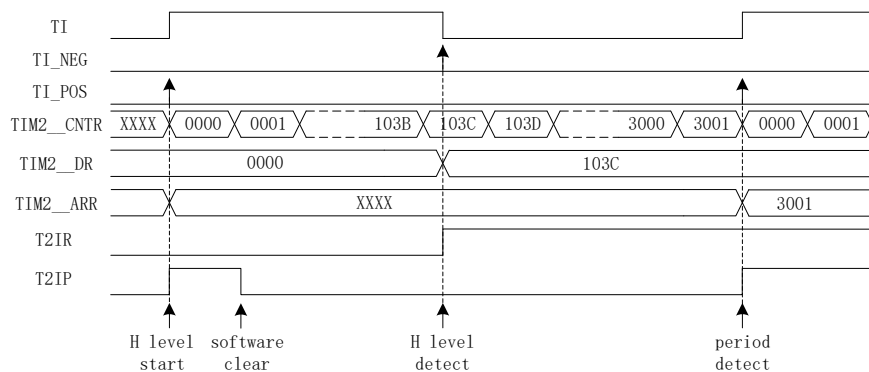


图 17-6 输入捕获模式(TIM2\_CR0[T2CES] = 0)时序图

以  $TIM2\_CR0[T2CES] = 0$  为例，配置  $TIM2\_CR1[T2CEN] = 1$ ，使能基本计数器，基本计数器向上计数。当 Timer2 检测到输入的第一个上升沿时(下降沿无效)， $TIM2\_CNTR$  清 0 并重新计数。当检测到输入的下降沿时，将  $TIM2\_CNTR$  的值存进  $TIM2\_DR$ ，同时中断事件标志位  $INT\_SR2[T2IR]$  置 1， $TIM2\_CNTR$  继续向上计数。当检测到输入的第二个上升沿时，将  $TIM2\_CNTR$  的值存进  $TIM2\_ARR$ ，同时中断事件标志位  $INT\_SR2[T2IP]$  置 1， $TIM2\_CNTR$  清 0，并重新开始计数。

如果在 Timer2 尚未检测到输入的第二个上升沿，且计数值  $TIM2\_CNTR$  达到  $0xFFFF$  时，发生上溢事件，中断事件标志位  $INT\_SR2[T2IF]$  置 1， $TIM2\_CNTR$  清 0 并重新开始计数，此时  $TIM2\_ARR$  的值为  $0xFFFF$ ， $TIM2\_DR$  的值由输入电平和  $TIM2\_CR0[T2OCM]$  异或决定。

### 17.1.6 输入计数模式

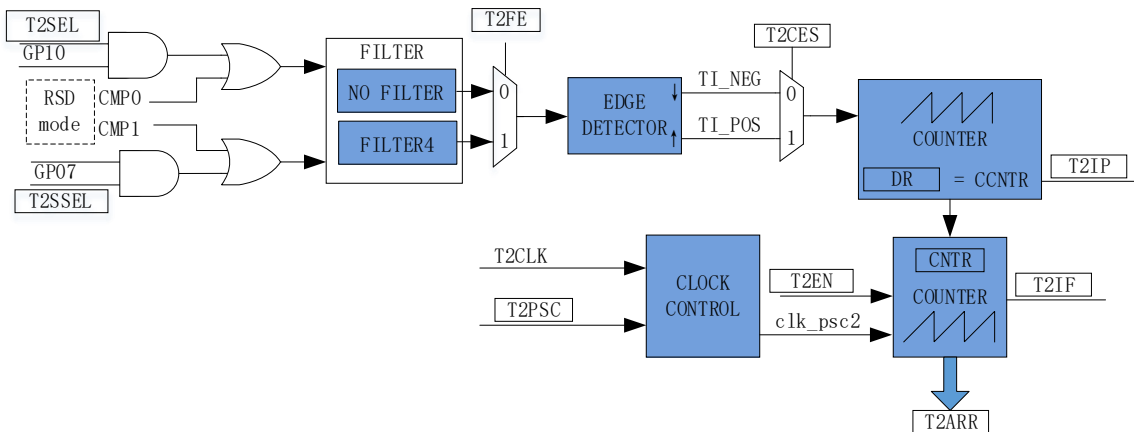


图 17-7 输入计数模式原理框图

在输入计数模式下， $TIM2\_DR$  包含预装载寄存器和影子寄存器。软件写  $TIM2\_DR$  寄存器时，数据先保存在预装载寄存器中。在匹配事件( $INT\_SR2[T2IP] = 1$ )、上溢事件( $INT\_SR2[T2IF] = 1$ )或专用计数器禁止( $TIM2\_CR1[T2CEN] = 0$ )时送入影子寄存器中。 $TIM2\_DR$  为 16 位寄存器，软件需先写入高字节，再写入低字节，由硬件保证在高字节写入后至低字节写入前预装载寄存器中的数据不会更新至影子寄存器中。

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  $TIM2\_DR$  设定值时，基本计数器的计数值  $TIM2\_CNTR$  被存入  $TIM2\_ARR$  中。配置  $TIM2\_CR0[T2CES] = 1$ ，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。

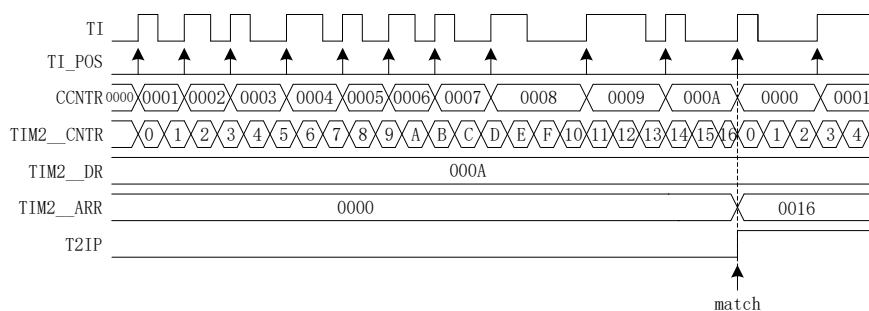


图 17-8 输入计数模式时序图

配置  $TIM2\_CR1[T2CEN] = 1$ ，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， $TIM2\_CNTR$  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  $TIM2\_DR$  设定的目标值后，基本计数器的计数值  $TIM2\_CNTR$  被存进  $TIM2\_ARR$ ，同时中断事件标志位  $TIM2\_CR1[T2IP]$  置 1， $TIM2\_CNTR$  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  $TIM2\_CNTR$  已经达到  $0xFFFF$  时，发生上溢事件，中断事件标志位  $INT\_SR2[T2IF]$  置 1， $TIM2\_CNTR$  清 0， $CCNTR$  不清 0， $TIM2\_CNTR$  从零开始计数， $CCNTR$  接着之前的数值继续计数。

### 17.1.7 QEP&RSD 模式

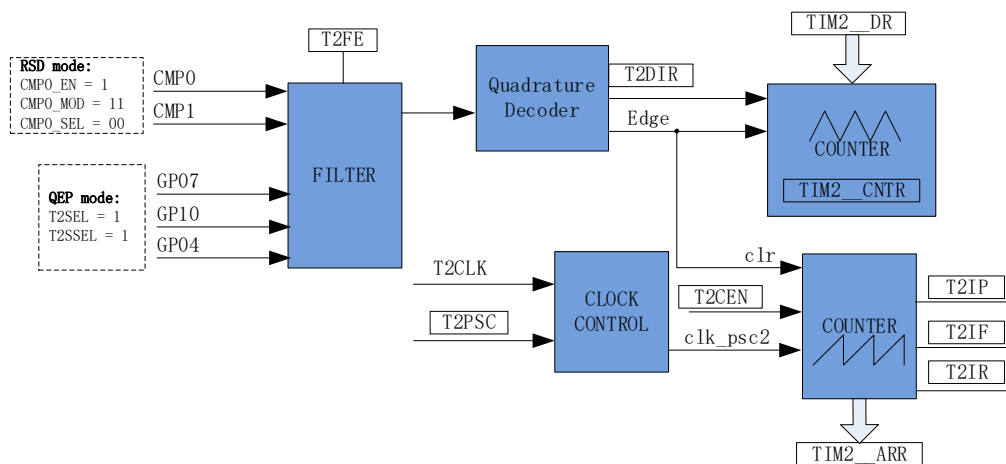


图 17-9 QEP&RSD 模式原理框图

QEP&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。P0.7、P1.0(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  $TIM2\_CR1[T2DIR]$ 。

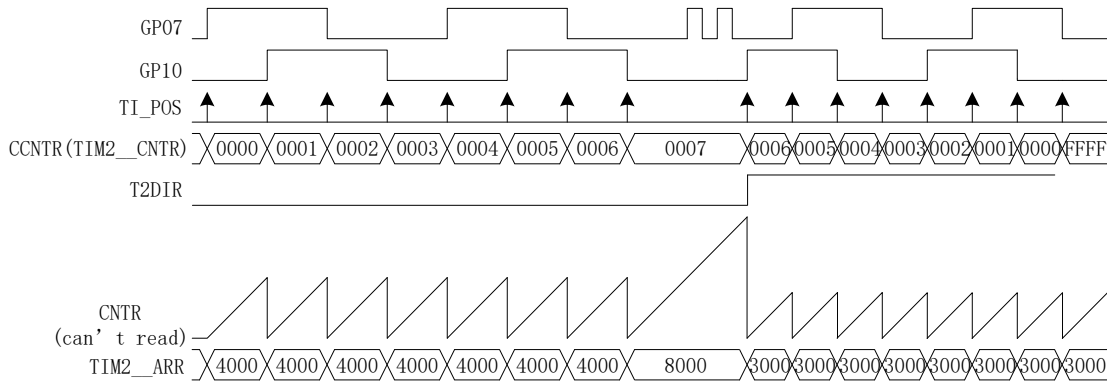


图 17-10 QEP&RSD 模式时序图

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。 $TIM2\_CR1[T2DIR] = 0$ ，方向为正，向上计数，当有效沿来临，专用计数器加 1； $TIM2\_CR1[T2DIR] = 1$ ，方向为反，向下计数，当有效沿来临，专用计数器减 1。QEP 模式下，配置编码器码值  $TIM2\_DR$ ，正方向专用计数器向上计数到  $TIM2\_DR$  时清零重新计数；反方向专用计数器向下计数到 0 时，设为  $TIM2\_DR$  值重新计数。QEP 编码器机械零点 Z 信号从 P0.4 输入，产生  $INT\_SR2[T2IR]$  中断事件标志位。

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  $TIM2\_ARR$ ，同时基本计数器清 0， $INT\_SR2[T2IP]$  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  $INT\_SR2[T2IF]$  中断事件标志位。

### 17.1.7.1 RSD 的比较器采样

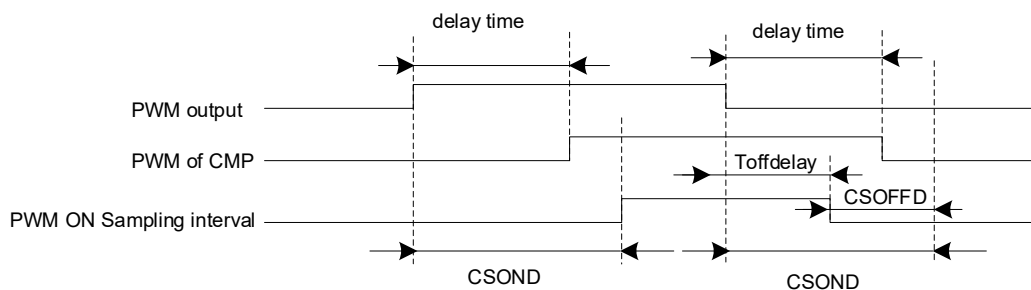


图 17-11 PWM ON 采样模式

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 30.1.3。

### 17.1.8 步进模式

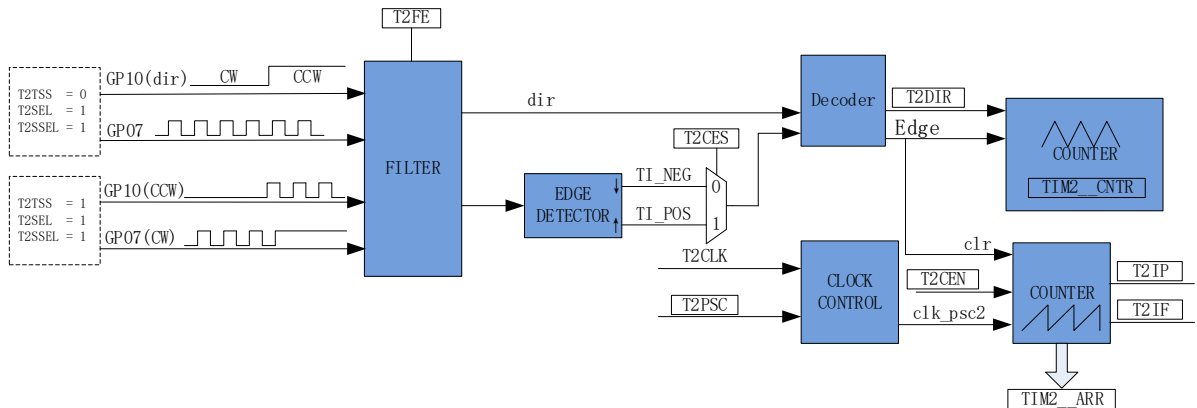


图 17-12 步进模式原理框图

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。P1.0 信号为方向输入，P0.7 信号为脉冲输入。根据 TIM2\_CR0[T2CES]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 TIM2\_CR1[T2DIR]。

注: 在 P1.0 变化且 P0.7 有效沿来临后，TIM2\_CR1[T2DIR]才会发生变化。如需在 P1.0 变化时立即产生中断，应使用外部中断 INT1。

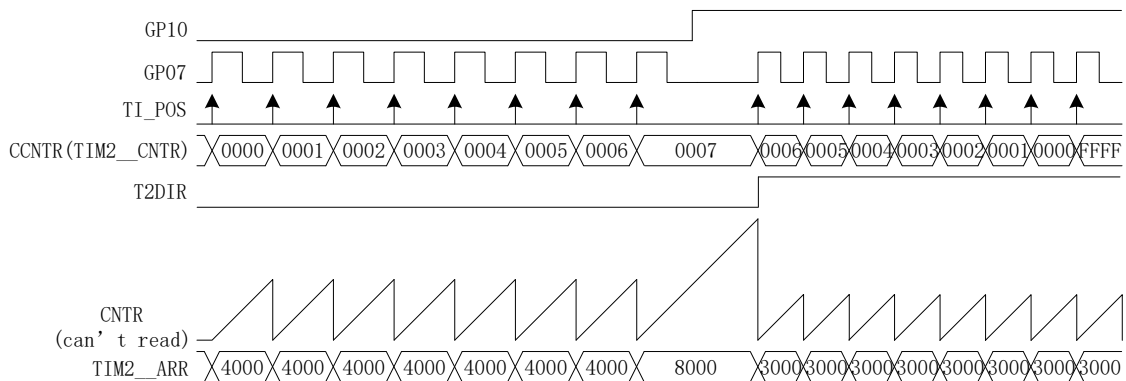


图 17-13 步进模式时序图

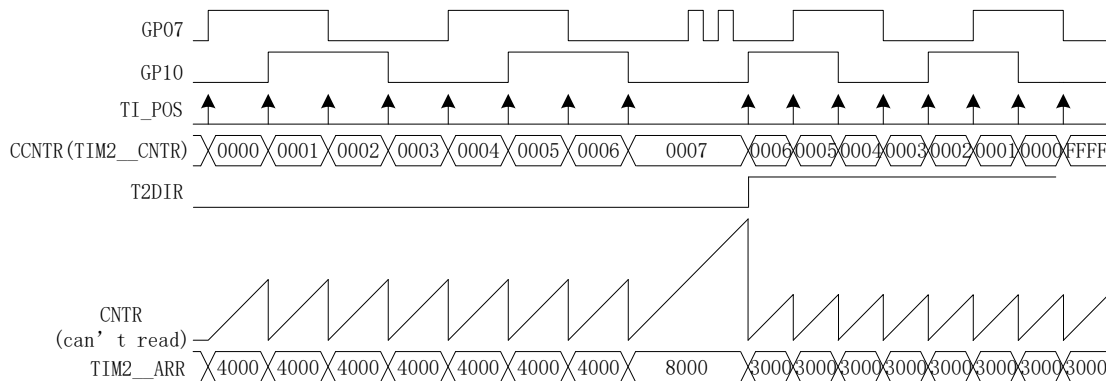


图 17-14 步进模式正反向脉冲输入模式时序图(选择上升沿作为有效沿)

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。P1.0 = 0 时，TIM2\_CR1[T2DIR]=0，方向为正，当 P0.7 有效沿来临时，专用计数器 CCNTR 向上计数，专用计数器加 1；P1.0 = 1 时，TIM2\_CR1[T2DIR]=1，方向为反，当 P0.7 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 65535 后自动清 0，从 65535 减到 0 后自动设为 65535。读寄存器 TIM2\_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 TIM2\_ARR，基本计数器清 0 并重新开始计数，同时 INT\_SR2[T2IP]中断事件标志位被置 1。当基本计数器计数到 0xFFFF，计数溢出，INT\_SR2[T2IF]中断事件标志位被置 1。

## 17.2 Timer2 寄存器

### 17.2.1 TIM2\_CR0 (0xA1)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	T2PSC			T2OCM	T2IRE	T2CES	T2MOD	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:5]	T2PSC	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: 20MHz      001: 10MHz 010: 5MHz        011: 2.5MHz 100: 1.25MHz    101: 625kHz 110: 312.5kHz   111: 156.25kHz						
[4]	T2OCM	输出模式：输出模式选择 0: TIM2_CNTR < TIM2_DR，输出 0；TIM2_CNTR ≥ TIM2_DR，输出 1 1: TIM2_CNTR < TIM2_DR，输出 1；TIM2_CNTR ≥ TIM2_DR，输出 0 输入计数模式：无意义 输入捕获模式：TIM2_CNTR 计数溢出时，TIM2_DR 指示输入电平选择						

		0: 若溢出时输入是低电平, TIM2_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入是高电平, TIM2_DR 硬件设为 0xFFFF 1: 若溢出时输入是高电平, TIM2_DR 硬件设为 0; 若溢出时输入是低电平, TIM2_DR 硬件设为 0xFFFF QEP&RSD 模式和步进模式选择 0: QEP&RSD 模式 1: 步进模式
[3]	T2IRE	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 输入计数模式: 无意义 QEP 模式: 编码器机械零点 Z 信号中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer2 IR 中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)
[2]	T2CES	输出模式: 无意义 输入捕获模式: 计数沿选择 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) 输入计数模式: 计数有效沿选择 0: 下降沿计数 1: 上升沿计数 QEP&RSD 模式: 外部中断 INT1(零点)清 0 脉冲计数器使能 0: 不使能 1: 使能 步进模式: 计数有效沿选择 0: 下降沿计数 1: 上升沿计数
[1:0]	T2MOD	模式选择 00: 输入捕获模式 01: 输出模式 10: 输入计数模式 11: QEP&RSD 模式或步进模式

### 17.2.2 TIM2\_CR1 (0xA9)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		T2TSS	T2IPE	T2IFE	T2FE	T2DIR	T2CEN
类型	-	-	R/WO	R/W	R/W	R/W	R	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5]	T2TSS	TIM2 步进电机模式的输入模式选择 0: 方向 + 脉冲输入模式。P1.0 输入方向, P0.7 输入脉冲 1: 正反向脉冲输入模式。P1.0 输入反向脉冲, P0.7 输入正向脉冲						
[4]	T2IPE	输出模式: 无意义 输入捕获模式: PWM 周期检测中断使能 输入计数模式: 输入 PWM 计数匹配中断使能 QEP&RSD 模式&步进模式: 输入有效边沿检测中断使能						

		0: 不使能 1: 使能  注: Timer2 IP 中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)
[3]	T2IFE	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 QEP&RSD 模式&步进模式: 基本计数器上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timer2 IF 中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)
[2]	T2FE	输入信号滤波选择 当 TIM2_CR1[T2FE] = 1 时, 输入信号的脉宽小于 4 个时钟周期, 被当作噪声滤除。 假设系统时钟为 20MHz (50ns), 则滤波脉宽为 200ns 0: 不滤波 1: 按 4 个时钟周期滤波
[1]	T2DIR	QEP&RSD: 电机旋转方向表示 根据两路输入信号的相位关系, 指示电机旋转方向 步进模式: 电机旋转方向表示 根据方向信号(P1.0)的变化, 指示电机旋转方向 0: 正向 1: 反向
[0]	T2CEN	基本计数器使能 0: 不使能 1: 使能

### 17.2.3 TIM2\_CNTR (0xAA, 0xAB)

TIM2_CNTRH (0xAB)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM2_CNTR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM2_CNTRL (0xAA)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM2_CNTR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM2_CNTR	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 QEP&RSD 模式/步进模式: 专用计数器的计数值						

### 17.2.4 TIM2\_DR (0xAC, 0xAD)

TIM2_DRH (0xAD)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM2_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

TIM2_DRL (0xAC)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM2_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM2_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 模式：编码器码值 步进模式：无意义						

### 17.2.5 TIM2\_ARR (0xAE, 0xAF)

TIM2_ARRH (0xAF)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIM2_ARR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIM2_ARRL (0xAE)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIM2_ARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIM2_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) QEP&RSD 模式&步进模式：检测到输入边沿为有效边沿时基本计数器的计数值(硬件写)						

## 18 Timer3/Timer4

### 18.1 Timer3/Timer4 操作说明

Timer3/Timer4 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 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作为输入捕获时可以倍频至40MHz)。
- 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
- Timer4 FG输出
- 中断事件

#### 18.1.1 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  $clk\_pscx = TxCLK/(2^{TxPSC})$ 。分频后的时钟源频率与TIMx\_CR0[TxPSC]的关系如表 18-1 所示。

表 18-1 分频后的时钟源频率与TIMx\_CR0[TxPSC]对应关系

TIMx_CR0[TxPSC]	分频系数	clk_pscx (Hz)	TIMx_CR0[TxPSC]	分频系数	clk_pscx (Hz)
000	1	20M	100	16	1.25M
001	2	10M	101	32	625k
010	4	5M	110	64	312.5k
011	8	2.5M	111	128	156.25k

注: Timer3 的输入捕获模式下, TIM3\_CR0[T3PSC] = 111 对应的是 40MHz

#### 18.1.2 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。软件读 TIMx\_CNTR 时, 先读高字节, 硬件会同步将此时刻低字节缓存, 待读低字节时读取到的是缓存的数据。

### 18.1.3 输出模式

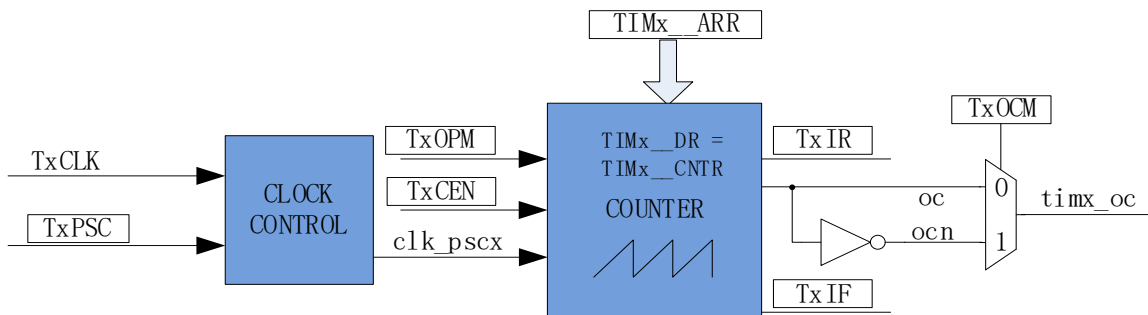


图 18-1 输出模式原理框图

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。

#### 18.1.3.1 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。

#### 18.1.3.2 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。

#### 18.1.3.3 中断事件

- 当  $TIMx\_CNTR = TIMx\_DR$ ，产生比较匹配事件，中断事件标志位  $INT\_SR1[TxIR]$  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  $INT\_SR1[TxIF]$  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。

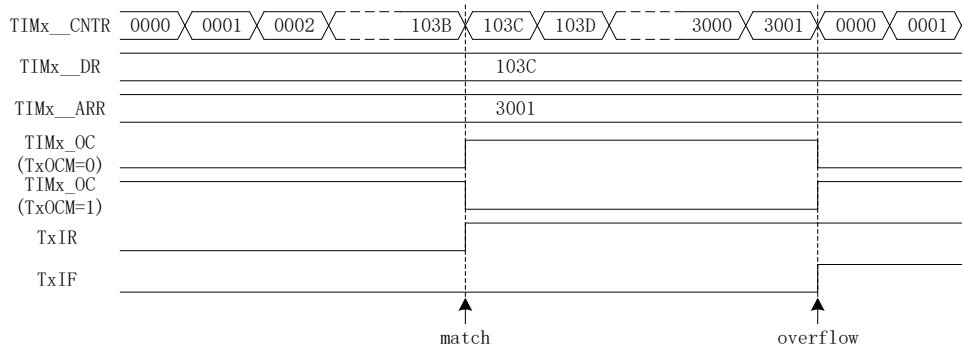


图 18-2 输出模式输出波形

### 18.1.4 输入信号滤波和边沿检测

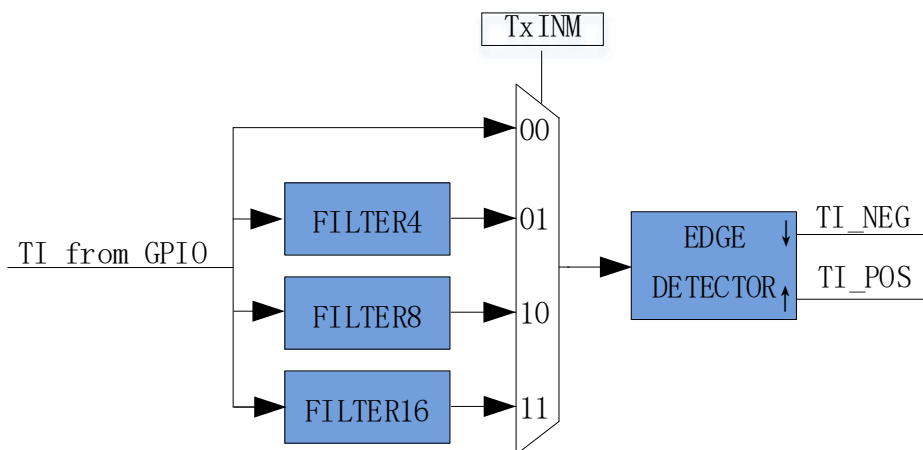


图 18-3 输入信号滤波和边沿检测框图

Timer3/Timer4 的输入信号由 GPIO 输入。TIMx\_CR1[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。

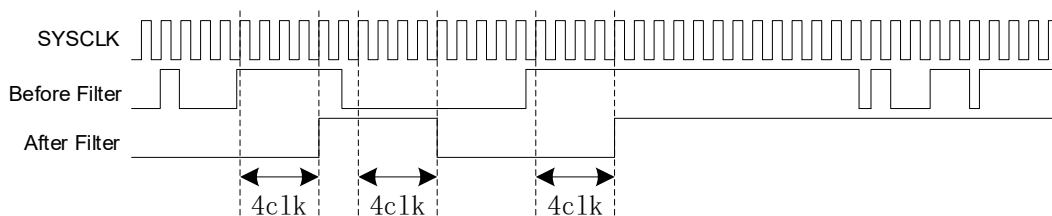


图 18-4 滤波模块时序图

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。

### 18.1.5 输入捕获模式

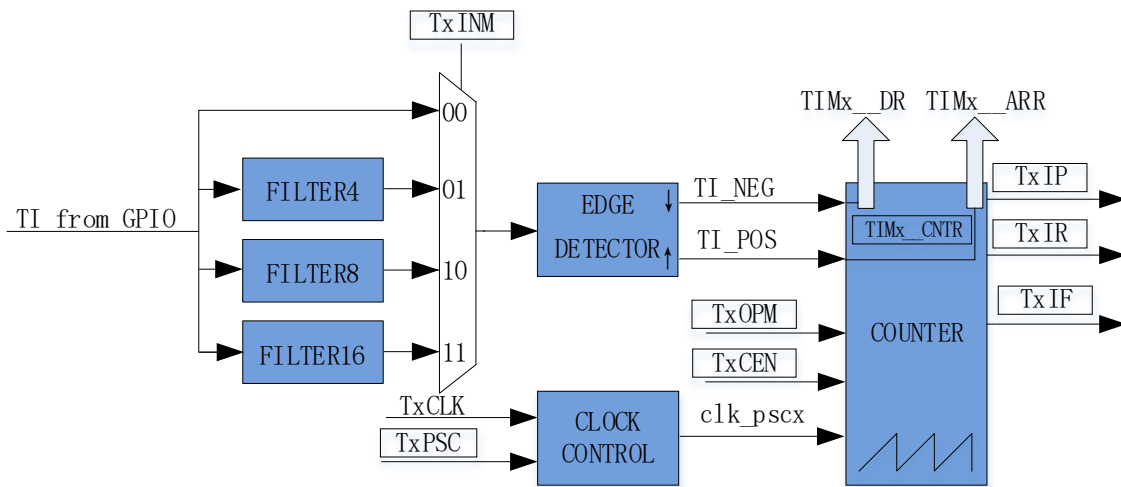


图 18-5 输入捕获模式原理框图

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。

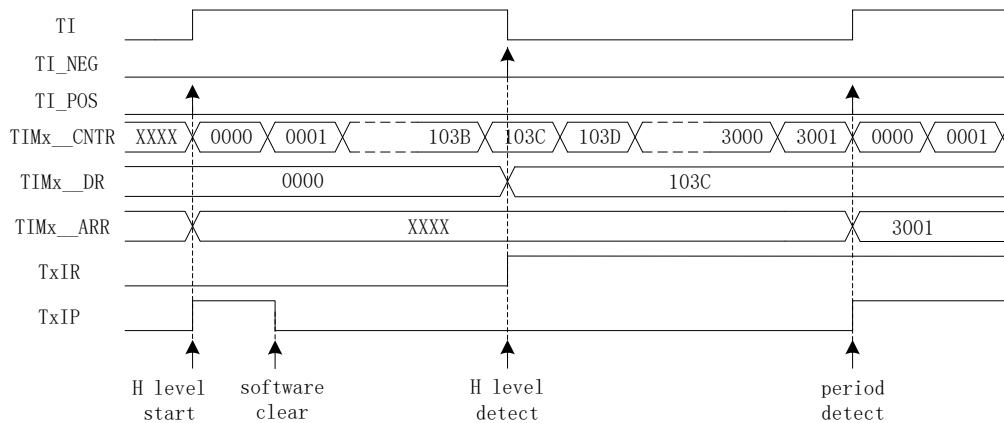


图 18-6 输入捕获模式(TIMx\_CR0[TxOCM] = 0)时序图

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 INT\_SR1[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\_CR1[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 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 INT\_SR1[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。

### 18.1.6 Timer4 的 FG 输出模式

FG 信号由 FOC 模块和 Timer4 共同作用产生，FOC 模块每个载波周期根据频率基准 fbase。根据公式  $FGBASE = FBASE * 32768 * 4 / 187500 * X$  (X 为 FG 分频倍频系数，可为小数；187500 为 TIMER4 的预分频)计算 FGBASE。软件计算估算器速度  $OMEGA * FGBASE$ ，32 位乘积右移 8 位后取低 24 位，得到 DELTA\_THETA，其高 16 位写入 TIM4\_ARR，低 8 位写入 TIM4\_DR[15:8]。配置 TIM4\_CR0[T4FGM] = 1、Timer4 输出模式，Timer4 工作在 FG 输出模式，计数溢出时输出 FG 信号。

## 18.2 Timer3/Timer4 寄存器

### 18.2.1 TIMx\_CR0 (0x9C/0x9E) (x = 3/4)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TxPSC			TxOCM	TxIRE	T4FGM	TxOPM	TxMOD
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[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: 20MHz      001: 10MHz 010: 5MHz      011: 2.5MHz 100: 1.25MHz    101: 625kHz 110: 312.5kHz   111: 156.25kHz  注：Timer3 的输入捕获模式下，111 对应的是 40MHz						
[4]	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						
[3]	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  注: Timerx IR 中断标志位见 INT_SR1 (0xF3)
[2]	T4FGM	Timer4 FG 模式使能 0: 不使能 1: 使能
[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

### 18.2.2 TIMx\_CR1 (0x9D/0x9F) (x = 3/4)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV			TxIPE	TxIFE	TxINM		TxEN
类型	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:5]	RSV	保留						
[4]	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  注: Timerx IP 中断标志位见 INT_SR1 (0xF3)						
[3]	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 Timer4 FG 输出模式: FG 上溢中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Timerx IF 中断标志位见 INT_SR1 (0xF3)						
[2:1]	TxINM	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						
[0]	TxEN	基本计数器使能 0: 不使能 1: 使能						

**18.2.3 TIMx\_CNTR (0xA2, 0xA3/0x92, 0x93) (x = 3/4)**

TIMx_CNTRH (0xA3/0x93)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIMx_CNTR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIMx_CNTRL (0xA2/0x92)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIMx_CNTR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIMx_CNTR	基本计数器的计数值						

**18.2.4 TIMx\_DR (0xA4, 0xA5/0x94, 0x95) (x = 3/4)**

TIMx_DRH (0xA5/0x95)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIMx_DR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIMx_DRL (0xA4/0x94)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIMx_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIMx_DR	输出模式：比较匹配值(软件写) Timer4 FG 输出模式：高 8 位写 DELTA_THETA 低 8 位 输入捕获模式：检测到输入脉宽的计数值(硬件写)						

**18.2.5 TIMx\_ARR (0xA6, 0xA7/0x96, 0x97) (x = 3/4)**

TIMx_ARRH (0xA7/0x97)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	TIMx_ARR[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
TIMx_ARRL (0xA6/0x96)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TIMx_ARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	TIMx_ARR	输出模式：重载值(软件写) Timer4 FG 输出模式：写 DELTA_THETA 高 16 位 输入捕获模式：检测到一个 PWM 周期的计数值(硬件写)						

## 19 Systick

### 19.1 Systick 操作说明

芯片可产生固定时间的 Systick 中断。配置 SYST\_CR[SYST\_SEL]设置产生中断的周期。当 SYST\_CR[SYST\_SEL]不为 00 时，Systick 中断自动使能，中断入口为 10。

### 19.2 Systick 寄存器

#### 19.2.1 SYST\_CR (0x4064)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV						SYST_SEL	
类型	-	-	-	-	-	-	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	-	-	0	0
位	名称	描述						
[7:2]	RSV	保留						
[1:0]	SYST_SEL	Systick 档位选择 00: 关闭 01: 0.25ms 10: 0.5ms 11: 1ms  注: Systick 中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)						

## 20 Driver

### 20.1 Driver 操作说明

#### 20.1.1 FU6881Q1 Driver 简介

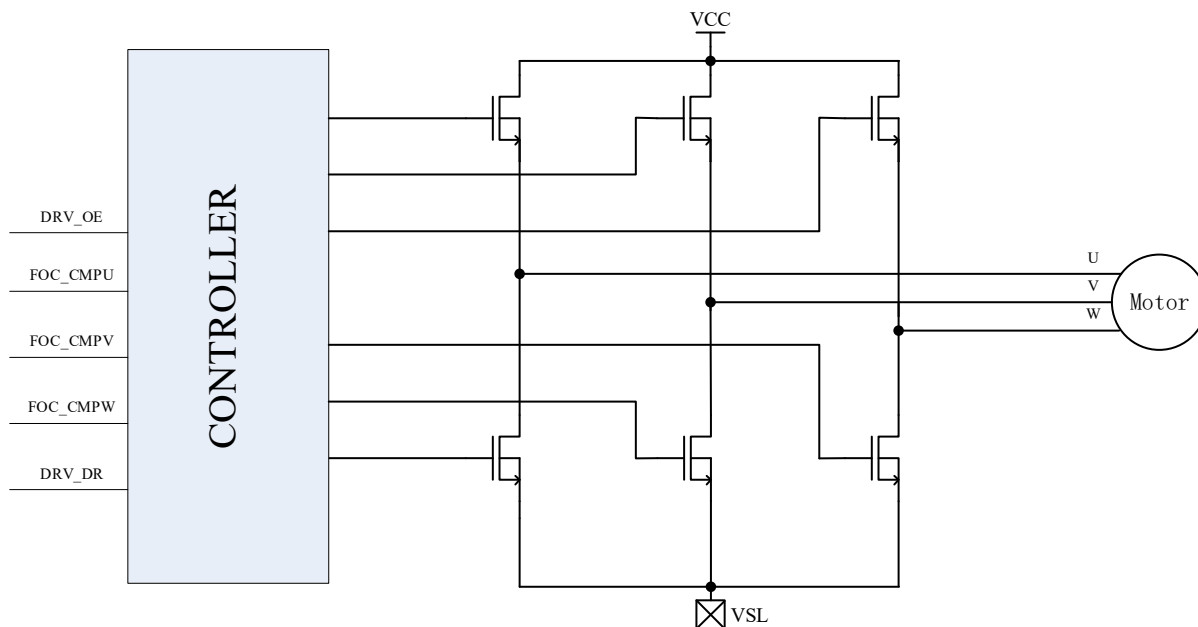


图 20-1 FU6881Q1 Driver 模块框图

FOC\_CMPU/V/W 是 FOC 模块输出的三路比较值，DRV\_DR 是软件设置的比较值，以上比较值经过输出控制模块后输出六路电平信号控制功率 MOS 管。

#### 20.1.2 输出控制模块

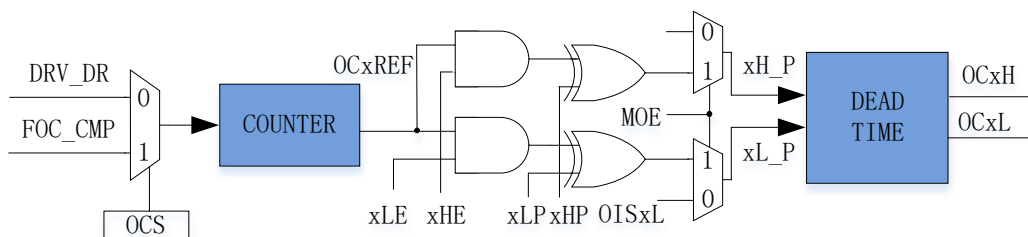


图 20-2 输出控制模块前级框图

配置 Driver 模块工作前，需配置 DRV\_CR0[MESEL] = 1，即 ME 选择 FOC 模式，反之为方波驱动模式。

当  $DRV\_CR0[OCS] = 0$  时，PWM 的比较值来自  $DRV\_DR$ ，否则来自  $FOC\_CMP$ ，生成 U、V、W 三路信号  $OCxREF$ 。配置各路上下管使能  $DRV\_CMR[xHE]$ 、 $DRV\_CMR[xLE]$  及极性电平控制位  $DRV\_CMR[xHP]$ 、 $DRV\_CMR[xLP]$  对  $OCxREF$  信号进行逻辑处理；使能  $DRV\_OUT[MOE]$  选择 PWM，反之空闲电平，产生的  $xH\_P$ 、 $xL\_P$  信号送到死区模块输出上下桥所需的  $OcxH$ 、 $OcxL$  PWM 驱动信号。

### 20.1.2.1 计数比较模块

配置  $DRV\_CR0[OCS]$  选择 PWM 的比较值来自 FOC 模块的  $FOC\_CMPU/V/W$  或软件设置的比较值  $DRV\_DR$ 。比较值送至计数器比较后得到三路原始 PWM 信号  $OCxREF$ ，其中  $DRV\_DR$  用于实现电机预充电、刹车和方波控制。当计数值  $DRV\_CNTR$  小于比较值， $OCxREF$  输出高电平；反之，输出低电平。

配置  $DRV\_CR0[OCS] = 1$ ，比较值来自 FOC 模块的  $FOC\_CMPU/V/W$  并与计数值比较，生成占空比  $OC1REF/OC2REF/OC3REF$ 。

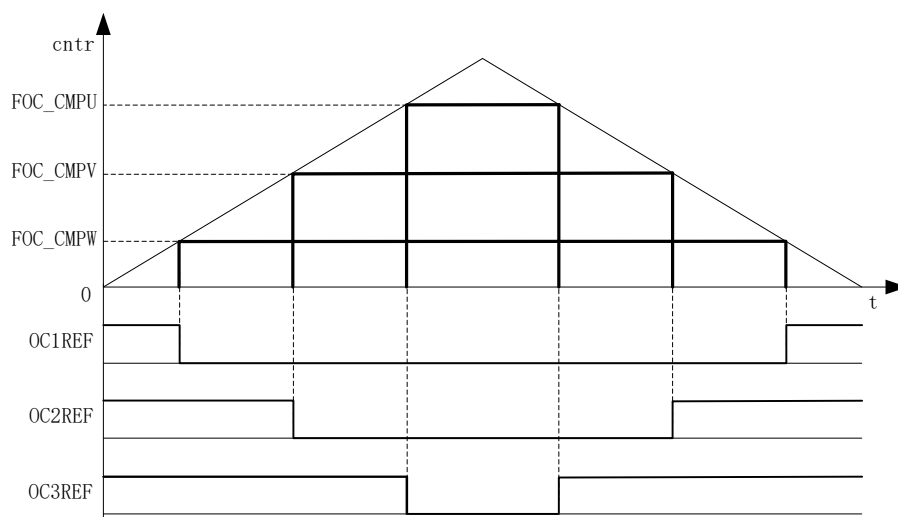


图 20-3 PWM 生成图

配置  $DRV\_CR0[OCS] = 0$ ，选择软件设置的比较值  $DRV\_DR$  与计数值比较，生成三路占空比相同的  $OC1REF/OC2REF/OC3REF$ 。占空比 =  $DRV\_DR/DRV\_ARR * 100\%$ 。

### 20.1.2.2 输出使能与极性

软件配置  $DRV\_CMR[xHE]$  和  $[xLE]$  使能上下桥， $DRV\_CMR[xHP]$  和  $[xLP]$  选择输出的极性。配合  $DRV\_DR$ 、 $DRV\_ARR$  可实现预充电和刹车等功能。

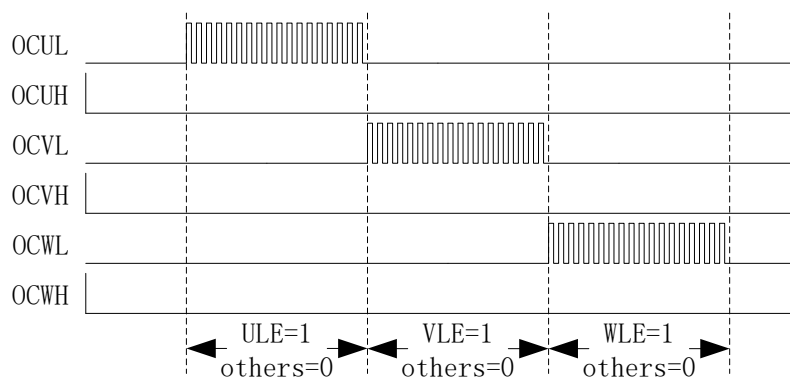


图 20-4 预充电波形图

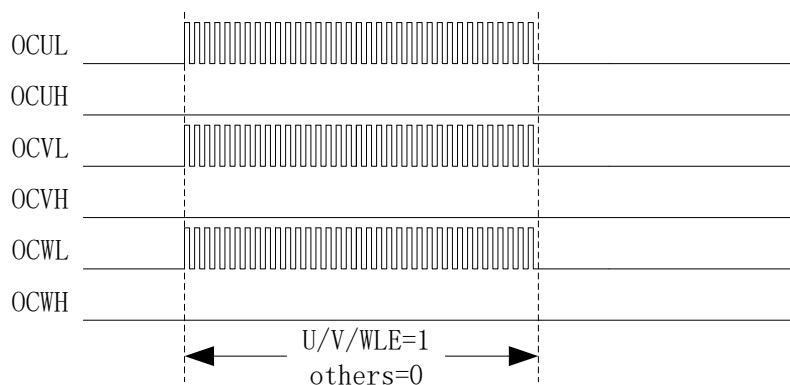


图 20-5 刹车波形图

在应用于方波控制时，Timer1自动控制DRV\_CMR达到换相的功能。配置DRV\_CR0[MESEL]=0，选择方波驱动模式，当Timer1产生写入时序时，对应的TIM1\_DBRx传输到DRV\_CMR。

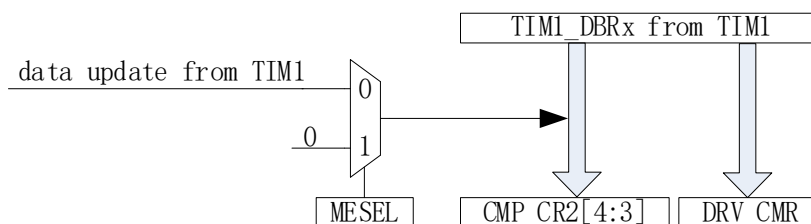


图 20-6 Timer1自动控制DRV\_CMR和CMP\_CR2[4:3]

### 20.1.2.3 中断

#### 20.1.2.3.1 比较匹配中断

通过DRV\_CR1[DCIM]设置比较匹配中断产生的条件，设置比较值DRV\_COMR设定比较匹配中

断产生的时间。当计数器的计数值等于DRV\_COMR，且符合DRV\_CR1[DCIM]设置的条件下，产生Driver比较匹配中断请求，中断标志位INT\_SR2[DCIF]硬件置1。

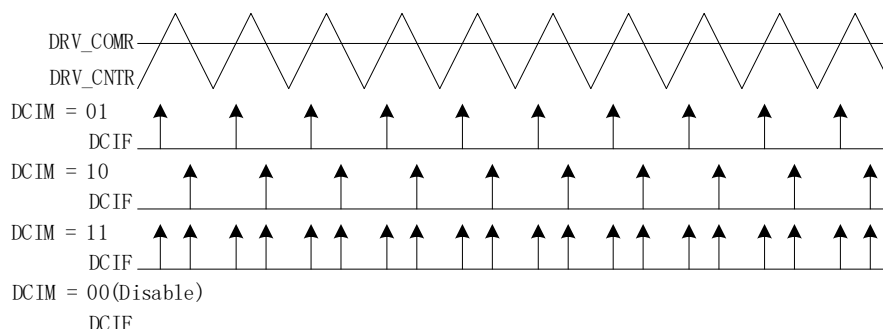


图 20-7 Driver 比较匹配中断

## 20.2 Driver 寄存器

### 20.2.1 DRV DTR(0x4060)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV							DTSEL
类型	-	-	-	-	-	-	-	R/W
复位值	-	-	-	-	-	-	-	0
位	名称	描述						
[7:1]	RSV	保留						
[0]	DTSEL	死区时间选择 0: 不插入 1: 4 个系统时钟周期						

### 20.2.2 DRV\_CR0 (0x4062)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DRVEN	DDIR	FOCEN	DRPE	OCS	MESEL	RSV	DRVOE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	-	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	-	0
位	名称	描述						
[7]	DRVEN	计数器使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	DDIR	输出方向(正反转) 改变电机的转动方向，方波驱动和 FOC 驱动均有效。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，方波驱动需修改 Timer1 相关参数。 0: 正转 1: 反转						
[5]	FOCEN	FOC 模块使能 0: 不使能 1: 使能						

[4]	DRPE	DRV_DR 预装载使能 使能预装载后，软件写 DRV_DR 后，数值在计数器发生下溢事件后更新；禁止预装载，软件写 DRV_DR 后，数值立刻更新 0: 不使能 1: 使能
[3]	OCS	比较值来源选择 0: DRV_DR 1: FOC 模块
[2]	MESEL	ME 工作模式选择 0: 方波驱动模式 1: FOC 驱动模式
[1]	RSV	保留
[0]	DRVOE	Driver 使能 0: 不使能 1: 使能

### 20.2.3 DRV\_CR1 (0x4061)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ANARDY	DRV_MD	CPCCKSEL		FGIE	DCIP	DCIM	
类型	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	ANARDY	内部电路准备完毕标志位 0: 未准备完 1: 准备完毕						
[6]	DRV_MD	计数模式 0: 中央对齐模式 1: 锯齿波模式 (FOC 不能选择)						
[5:4]	CPCCKSEL	电荷泵时钟选择 00: 93.75kHz 01: 187.5kHz 10: 23kHz 11: 47kHz						
[3]	FGIE	FG中断使能 中断使能后，FOC驱动/方波驱动时，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: 1 个载波周期 1: 2 个载波周期						
[1:0]	DCIM	比较匹配中断模式设置 当计数值等于 DRV_COMR 时，根据 DRV_SR[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: 计数器向下计数方向时产生中断 11: 计数器向上/向下计数时都产生中断  注: DRV 比较匹配中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)						

**20.2.4 DRV\_OUT (0xF8)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	MOE	RSV	OISWL	OISWH	OISVL	OISVH	OISUL	OISUH
类型	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[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(见章节 30.1.1.1)时，硬件自动清 0，关闭输出。 0: 不使能，输出来源于空闲电平 DRV_OUT[OISUH]/DRV_OUT[OISVH]/DRV_OUT[OISWH] 和 DRV_OUT[OISUL]/DRV_OUT[OISVL]/DRV_OUT[OISWL]。 1: 使能，输出来源于计数器比较值						
[6]	RSV	保留						
[5]	OISWL	WL 的输出空闲电平 参考 OISUH 描述						
[4]	OISWH	WH 的输出空闲电平 参考 OISUH 描述						
[3]	OISVL	VL 的输出空闲电平 参考 OISUH 描述						
[2]	OISVH	VH 的输出空闲电平 参考 OISUH 描述						
[1]	OISUL	UL 的输出空闲电平 参考 OISUH 描述						
[0]	OISUH	UH 的输出空闲电平 该位设置 UH 的输出空闲电平。当 DRV_OUT[MOE] = 0 时，输出空闲电平关闭 MOS 0: 低电平 1: 高电平						

**20.2.5 DRV\_CMR (0x405C, 0x405D)**

DRV_CMRH (0x405C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV				WHP	WLP	VHP	VLP
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
DRV_CMRL (0x405D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	UHP	ULP	WHE	WLE	VHE	VLE	UHE	ULE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:12]	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

注:

- 当 DRV\_CMR[W/V/ULE]和 DRV\_CMR[WV/UHE]同时为 1，W/V/U 相以下桥为参考，上下桥互补输出 PWM 波，同时自动插入死区。
- 方波驱动时，Timer1 会自动控制 DRV\_CMR 寄存器

### 20.2.6 DRV\_ARR (0x405E, 0x405F)

DRV_ARRH (0x405E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV		DRV_ARR[13:8]					
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
DRV_ARRL (0x405F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0

名称	DRV_ARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:14]	RSV	保留						
[13:0]	DRV_ARR	计数器的重载值，决定载波频率(中央对齐模式) Driver 计数器从 0 开始计数到 DRV_ARR/2 - 1，产生上溢事件，然后向下计数到 0 计算公式：载波频率 $f_{carrier} = 40\text{MHz}/\text{DRV\_ARR}$ DRV_ARR 的值以时钟 40MHz 计算，取值范围[0, 16383]  注： ■ 最低位恒为 0，写 1 无意义 ■ 40MHz 为系统时钟频率的两倍						

### 20.2.7 DRV\_COMR (0x405A, 0x405B)

DRV_COMRH (0x405A)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV				DRV_COMR[11:8]			
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
DRV_COMRL (0x405B)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DRV_COMR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:12]	RSV	保留						
[11:0]	DRV_COMR	计数器的比较匹配值 当计数值与 DRV_COMR 相等且满足 DRV_SR[DCIM] 设定的条件时，产生 DRV 比较匹配中断请求，DRV_COMR 的值等效以时钟 10MHz 计算。 匹配点对应的占空比 = $\text{DRV\_COMR} * 4 / \text{DRV\_ARR} * 100\%$ DRV_COMR 的值以时钟 10MHz 计算，取值范围[0, 4095]						

### 20.2.8 DRV\_DR (0x4058, 0x4059)

DRV_DRH (0x4058)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV		DRV_DR[13:8]					
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
DRV_DRL (0x4059)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DRV_DR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:14]	RSV	保留
[13:0]	DRV_DR	软件 PWM 占空比设定值 $\text{占空比} = \text{DRV\_DR} / \text{DRV\_ARR} * 100\%$ DRV_DR 的值以时钟 40MHz 计算, 取值范围[0, 16383]。  注: ■ 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 ■ 40MHz 为系统时钟频率的两倍

### 20.2.9 DRV\_\_CNTR (0x4066, 0x4067)

DRV__CNTRH (0x4066)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV				DRV__CNTR[11:8]			
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
DRV__CNTRL (0x4067)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DRV__CNTR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:12]	RSV	保留						
[11:0]	DRV__CNTR	计数器值 DRV__CNTR 的值以时钟 10MHz 计算。 Driver 对应占空比 = $\text{DRV\_CNTR} * 4 / \text{DRV\_ARR} * 100\%$ 取值范围[0, 4095]  注: 只有在 DRV_CR0[DRVEN] = 1 时, 才能写入 DRV__CNTR						

## 21 时钟

### 21.1 时钟简介

时钟包含两个模块：内部时钟快时钟、内部慢时钟。系统时钟工作在内部快时钟；内部慢时钟用于看门狗时钟，可配置看门狗的溢出时间。

### 21.2 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 13 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\_CR0[CAL\_STA] = 1，开始校准过程；
2. 读 CAL\_CR0[CAL\_BUSY]标志位确认校准过程是否结束；
3. 当校准完成(CAL\_CR0[CAL\_BUSY] = 0)后，读取 CAL\_CR0[CAL\_ARR]的值即是使用快时钟连续累积计数 8 个慢时钟的值。

#### 21.2.1 时钟校准寄存器

##### 21.2.2 CAL\_CR (0x4044, 0x4045)

CAL_CR0 (0x4044)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	CAL_STA/ CAL_BUSY	RSV		CAL_ARR[12:8]				
类型	R/W1	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	-	-	0	0	0	0	0
CAL_CR1 (0x4045)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CAL_ARR[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15]	CAL_STA/ CAL_BUSY	时钟校准使能 读： 0: 校准过程完成 1: 表示校准过程正在进行 写： 0: 无意义 1: 启动时钟校准功能						
[14:13]	RSV	保留						

[12:0]	CAL_ARR	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 注：当此值为 0 时表示无对应慢时钟输入，当此值为 0x1FFF 时表示计数溢出（慢时钟过慢或快时钟过快）。
--------	---------	---

## 22 WDT

看门狗定时器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。看门狗的工作原理是：启动看门狗后，看门狗的定时器开始计数。当看门狗定时器溢出时，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，每隔一段时间对看门狗的定时器进行初始化，以防止看门狗定时器溢出，俗称喂狗。

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，看门狗定时器将回到 WDT\_ARR 的设定值，并重新开始计数。

### 22.1 WDT 使用注意事项

- MCU 进入待机模式或睡眠模式时，WDT 将停止计数，但计数值仍会保留
- MCU 在仿真过程中，WDT 将会被自动禁用
- WDT 定时器溢出使 MCU 复位时，RST\_SR[RSTWDT] 将会置 1

### 22.2 WDT 操作说明

1. CCFG1[WDT\_EN]置 1，启动看门狗，看门狗从 0 开始计数；
2. 设置 WDT\_ARR (本操作也可以放在启动看门狗之前)；
3. 在程序的运行中设置 WDT\_CR[WDTRF] = 1，看门狗计数器回到 WDT\_ARR。

## 22.3 WDT 寄存器

### 22.3.1 WDT\_CR (0x4026)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV							WDTRF
类型	-	-	-	-	-	-	-	R/W
复位值	-	-	-	-	-	-	-	0
位	名称	描述						
[7:1]	RSV	保留						
[0]	WDTRF	看门狗初始化 0: 无意义 1: 看门狗计数器回到 WDT_ARR 的设定值, 并重新开始计数						

### 22.3.2 WDT\_ARR (0x4027)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	WDT_ARR							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	WDT_ARR	看门狗重载计数器 设置看门狗计数器初始化值的高 8 位						

### 22.3.3 CCFG1 (0x401E)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	LVW_EN_B	LVW_IE	WDT_EN	RSV				
类型	R/W	R/W	R/W	-	-	-	-	-
复位值	0	0	0	-	-	-	-	-
位	名称	描述						
[7]	LVW_EN_B	VCC 低电压预警使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	LVW_IE	LVW 检测中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: LVW 中断标志位见 INT_SR3 (0xF5)						
[5]	WDT_EN	WDT 使能 0: 不使能 1: 使能						
[4:0]	RSV	保留						

## 23 RTC

### 23.1 RTC 基本功能框图

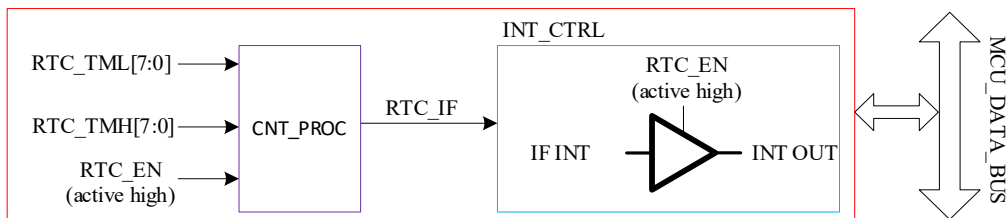


图 23-1 RTC 基本功能框图

### 23.2 RTC 操作说明

写寄存器 RTC\_TM，设置 RTC 计数的重载值。配置 RTC\_STA[RTC\_EN]=1，使能 RTC 计数。

### 23.3 RTC 寄存器

#### 23.3.1 RTC\_TM (0x402C, 0x402D)

RTC_TMH (0x402C)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RTC_TM[15:8]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	1	1	1	1	1	1	1
RTC_TML (0x402D)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RTC_TM[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	1	1	1	1	1	1	1	1
位	名称	描述						
[15:0]	RTC_TM	RTC 计数寄存器 读：正在计数的瞬间值 写：RTC 计数器以 32768Hz 的频率从 0 计数到写入值后溢出，产生中断请求，计数器清 0 并重新开始计数。						

#### 23.3.2 RTC\_STA (0x402E)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RTC_EN	RSV		ISOSCEN	RSV			
类型	R/W	-	-	R/W	-	-	-	-
复位值	0	-	-	0	-	-	-	-
位	名称	描述						

[7]	RTC_EN	RTC 使能 0: 不使能 1: 使能
[6:5]	RSV	保留
[4]	ISOSCEN	内部慢时钟使能 0: 不使能 1: 使能
[3:0]	RSV	保留

## 24 IO

### 24.1 IO 简介

FU6881Q1 支持 16 个 GPIO 引脚，分别为 P0.0 ~ P0.7、P1.0 ~ P1.7。

### 24.2 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：P0.0 映射到寄存器 P0，P1.0 映射到寄存器 P1，通过 P0\_OE、P1\_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24.3.4 P0\_PU (0x4053) ~ 24.3.5 P1\_PU (0x4054)。
- 上、下拉电阻阻值请参考5.3 GPIO电气特性。
- 配置P1\_AN对应的位为1，具体端口与寄存器名称请参考24.3.3 P1\_AN (0x4050)。端口配置为模拟信号端口后，所有数字功能失效，寄存器P1对应的位读出的端口状态为0。

### 24.3 IO 寄存器

#### 24.3.1 P0\_OE (0xFC)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P0_OE							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	P0_OE	P0.0 ~ P0.7 数字输入输出选择 0: 输入 1: 输出						

#### 24.3.2 P1\_OE (0xFD)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P1_OE							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	P1_OE	P1.0 ~ P1.7 数字输入输出选择 0: 输入 1: 输出						

**24.3.3 P1\_AN (0x4050)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	P1_AN			HBMOD	RSV	ODE1	ODE0
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	-	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6:4]	P1_AN	P1.4 ~ P1.6 模拟模式使能 0: 不使能 1: 使能						
[3]	HBMOD	P1.3 模式配置，与 P1_OE[3] 组合决定 P1.3 的功能模式如表 24-1 所示  表 24-1 P1.3 模式配置						
		<b>HBMOD</b>	<b>P1_OE[3]</b>	<b>P1.3 模式</b>				
		0	0	数字输入				
		0	1	数字输出				
		1	0	模拟模式				
		1	1	数字强驱动输出模式，输出高时最大输出电流可到 20mA，用于 Hall 的偏置电压输出。输出低的驱动模式与数字输出模式相同。				
[2]	RSV	保留						
[1]	ODE1	P0.3 集电极开漏使能 0: 不使能 1: 使能						
[0]	ODE0	P0.2 集电极开漏使能 0: 不使能 1: 使能						

**24.3.4 P0\_PU (0x4053)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P0_PU							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	P0_PU	P0.0 ~ P0.7 上拉电阻使能 0: 不使能 1: 使能						

**24.3.5 P1\_PU (0x4054)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P1_PU[7:2]						P11HV_EN	P10HV_EN
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						

[7:2]	P1_PU[7:2]	P1.2 ~ P1.7 上拉电阻使能 0: 不使能 1: 使能
[1]	P11HV_EN	P1.1 高压输入使能 0: 不使能, 翻转电平与普通 IO 相同, 见 5.3 GPIO 电气特性 1: 使能, 翻转电平与 VCC 有关, 见 5.3 GPIO 电气特性  注: 此位不论高低, P1.1 均可以耐高压, 电压最高等于 VCC
[0]	P10HV_EN	P1.0 高压输入使能 0: 不使能 1: 使能

### 24.3.6 Px\_PL (0x4052)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	P17_PL	P01_PL	RSV					
类型	R/W	R/W	-	-	-	-	-	-
复位值	0	0	-	-	-	-	-	-
位	名称	描述						
[7]	P17_PL	P1.7 下拉使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	P01_PL	P0.1 下拉使能 0: 不使能 1: 使能						
[5:0]	RSV	保留						

### 24.3.7 PH\_SEL (0x404C)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	SPITMOD	UARTEN	RSV	T4SEL	T3SEL	T2SEL	T2SSEL	RSV
类型	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W	-
复位值	0	0	-	0	0	0	0	-
位	名称	描述						
[7]	SPITMOD	SPI 从机发送完后 MISO 端口状态 0: 输出状态 1: 高阻态						
[6]	UARTEN	端口复用为 RXD、TXD 与 UART 使能 0: 不使能 1: P0.0、P0.1, P0.2、P0.3, P1.2、P1.7 复用为 TXD、RXD 并使能 UART						
[5]	RSV	保留						
[4]	T4SEL	端口复用为 Timer4 或 Timer4S 0: 不复用 1: P0.1 或 P0.0 复用为 Timer4 的输入输出						
[3]	T3SEL	端口复用为 Timer3 或 Timer3S 0: 不复用 1: P1.1 或 P0.1 作为 Timer3 的输入输出						
[2]	T2SEL	端口复用为 Timer2 0: 不复用 1: P1.0 作为 Timer2 的输入输出						

[1]	T2SSEL	端口复用为 Timer2S 0: 不复用 1: P0.7 作为 Timer2 的输入输出
[0]	RSV	保留

### 24.3.8 PH\_SEL1 (0x404D)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	UARTCH1	UARTCHO	RSV			T4CT	RSV	T3CT
类型	R/W	R/W	-	-	-	R/W	-	R/W
复位值	0	0	-	-	-	0	-	0

位	名称	描述
[7:6]	UARTCH	UART 功能转移 00: P0.0 为 RXD、P0.1 为 TXD (P0.0 为单线模式的输入输出) 01: P0.2 为 RXD、P0.3 为 TXD (P0.2 为单线模式的输入输出) 1X: P1.2 为 TXD、P1.7 为 RXD (P1.2 为单线模式的输入输出)
[5:3]	RSV	保留
[2]	T4CT	Timer4 功能转移 0: P0.1 为 Timer4 输入输出 1: P0.0 为 Timer4 输入输出
[1]	RSV	保留
[0]	T3CT	Timer3 功能转移 0: P1.1 为 Timer3 输入输出 1: P0.1 为 Timer3 输入输出

### 24.3.9 P0 (0x80)

端口输出寄存器 P0/1 支持读写访问，RMW 指令访问的是寄存器的值(RMW 指令见表 24-2)，其他指令访问的是 PORT 管脚。

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	GP07	GP06	GP05	GP04	GP03	GP02	GP01	GP00
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	GP07	端口 GP07
[6]	GP06	端口 GP06
[5]	GP05	端口 GP05
[4]	GP04	端口 GP04
[3]	GP03	端口 GP03
[2]	GP02	端口 GP02
[1]	GP01	端口 GP01
[0]	GP00	端口 GP00

**24.3.10 P1 (0x90)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	GP17	GP16	GP15	GP14	GP13	GP12	GP11	GP10
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	GP17	端口 GP17						
[6]	GP16	端口 GP16						
[5]	GP15	端口 GP15						
[4]	GP14	端口 GP14						
[3]	GP13	端口 GP13						
[2]	GP12	端口 GP12						
[1]	GP11	端口 GP11						
[0]	GP10	端口 GP10						

表 24-2 RMW 指令表

指令	功能描述
ANL	逻辑按位与运算
ORL	逻辑按位或运算
XRL	逻辑按位异或运算
JBC	位为1判断跳转，为1时跳转，并把位清0
CPL	位取反运算
INC, DEC	加1，减1运算
DJNZ	自减后判断是否为0跳转，不为零跳转
MOV Px, y, C	将进位C赋值给端口Px, y
CLR Px, y	端口Px, y清0
SETB Px, y	端口Px, y置1

## 25 温度传感器

FU6881Q1 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-40°C到 155°C，对应的码值如表 25-1 所示。

表 25-1 温度传感器输出的码值对应的档位温度值

TSEN_DR	温度值(°C)	TSEN_DR	温度值(°C)
0	≤ -40	1000000	67
1	-39	1000001	68
10	-38	1000010	69
11	-37	1000011	70
100	-36	1000100	71
101	-35	1000101	72
110	-34	1000110	74
111	-33	1000111	75
1000	-32	1001000	76
1001	-31	1001001	77
1010	-30	1001010	78
1011	-29	1001011	79
1100	-28	1001100	81
1101	-26	1001101	82
1110	-25	1001110	83
1111	-24	1001111	84
10000	-23	1010000	85
10001	-22	1010001	87
10010	-20	1010010	88
10011	-19	1010011	89
10100	-18	1010100	90
10101	-16	1010101	92
10110	-15	1010110	93
10111	-14	1010111	94
11000	-12	1011000	96
11001	-11	1011001	97
11010	-9	1011010	98
11011	-8	1011011	100
11100	-6	1011100	101
11101	-5	1011101	102
11110	-3	1011110	104
11111	-2	1011111	105
100000	0	1100000	106
100001	1	1100001	108
100010	3	1100010	109
100011	5	1100011	111
100100	6	1100100	112
100101	8	1100101	114
100110	10	1100110	115

<b>TSEN_DR</b>	<b>温度值(°C)</b>	<b>TSEN_DR</b>	<b>温度值(°C)</b>
100111	12	1100111	117
101000	14	1101000	118
101001	15	1101001	119
101010	17	1101010	121
101011	19	1101011	123
101100	21	1101100	124
101101	23	1101101	126
101110	25	1101110	127
101111	27	1101111	129
110000	29	1110000	130
110001	32	1110001	132
110010	34	1110010	133
110011	36	1110011	135
110100	38	1110100	137
110101	40	1110101	138
110110	43	1110110	140
110111	45	1110111	142
111000	48	1111000	143
111001	50	1111001	145
111010	53	1111010	147
111011	55	1111011	148
111100	58	1111100	150
111101	60	1111101	152
111110	63	1111110	153
111111	66	1111111	≥ 155

## 25.1 温度传感器寄存器

### 25.1.1 TSD\_CR (0x402F)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	TSDEN	TSEN_EN	TSEN_HYS	RSV	TSDADJ			
类型	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	TSDEN	温度检测功能使能 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]	TSDADJ	过温保护温度(测量的芯片结温) 0000: 72°C 0001: 77°C 0010: 82°C 0011: 87°C 0100: 92°C 0101: 97°C 0110: 102°C 0111: 108°C 1000: 114°C 1001: 120°C 1010: 126°C 1011: 132°C 1100: 139°C 1101: 146°C 1110: 152°C 1111: 159°C						

### 25.1.2 TSEN\_DR (0x4048)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	TSEN_DR						
类型	-	R	R	R	R	R	R	R
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[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 25-1						

## 26 ADC

### 26.1 ADC 简介

芯片的 ADC 是一个 12 位逐次逼近寄存器 ADC，内部有 11 个通道。采样方式支持顺序采样(即从 ADC 通道 0 依次到 ADC 通道 11)和触发采样(包括 FOC 触发采样模式、Timer1 触发采样模式和 LIN 自动寻址触发采样模式)。顺序采样的结果会以右对齐或左次高位对齐的格式存进 ADCx\_DR(x = 0 ~ 11)。触发采样的结果不会更新到 ADCx\_DR，而是送到 FOC 模块、Timer1 模块以完成电机控制或 LIN 模块完成自动寻址。FOC 模块、Timer1 或 LIN 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 采样时间的时钟源为 10MHz，ADC 采样时间由 ADC\_SCYC1、ADC\_SCYC2 设定。采样时间范围和转换时间请参考 ADC 电气特性。

### 26.2 ADC 框图

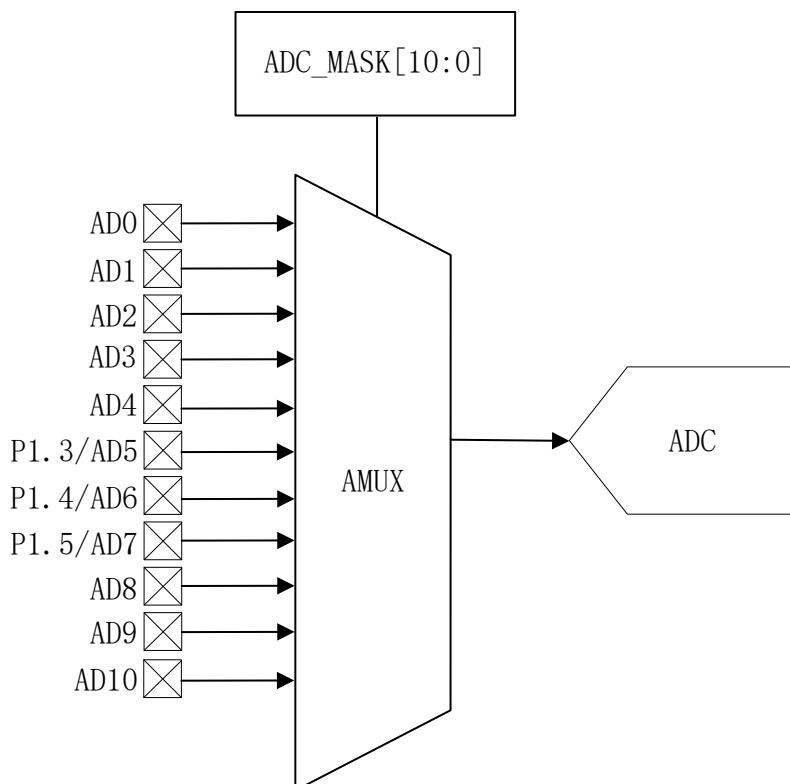


图 26-1 ADC 多路复用器框图

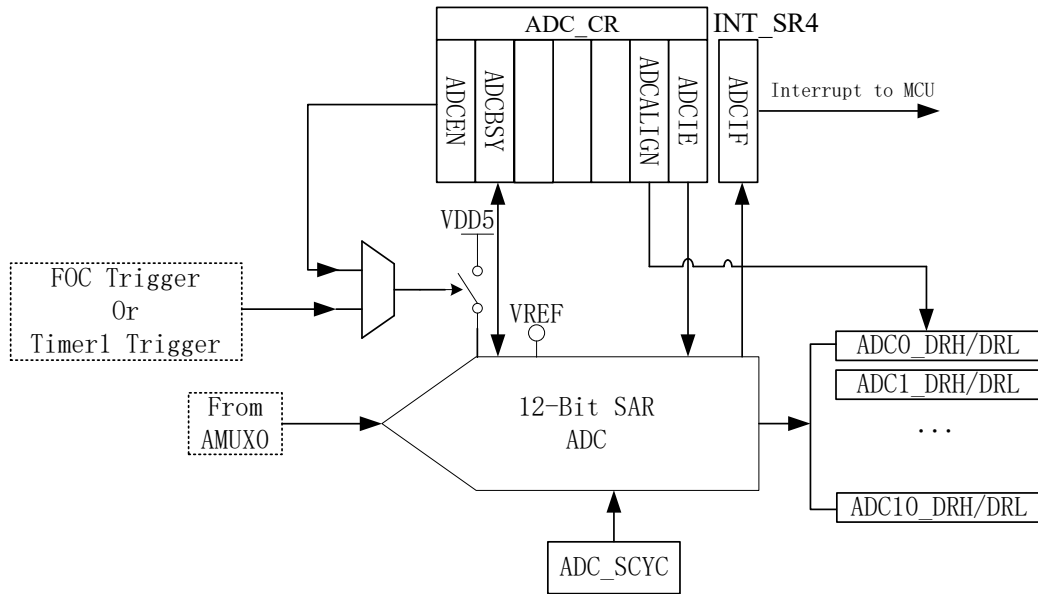


图 26-2 ADC 功能框图

## 26.3 ADC 操作说明

### 26.3.1 顺序采样模式

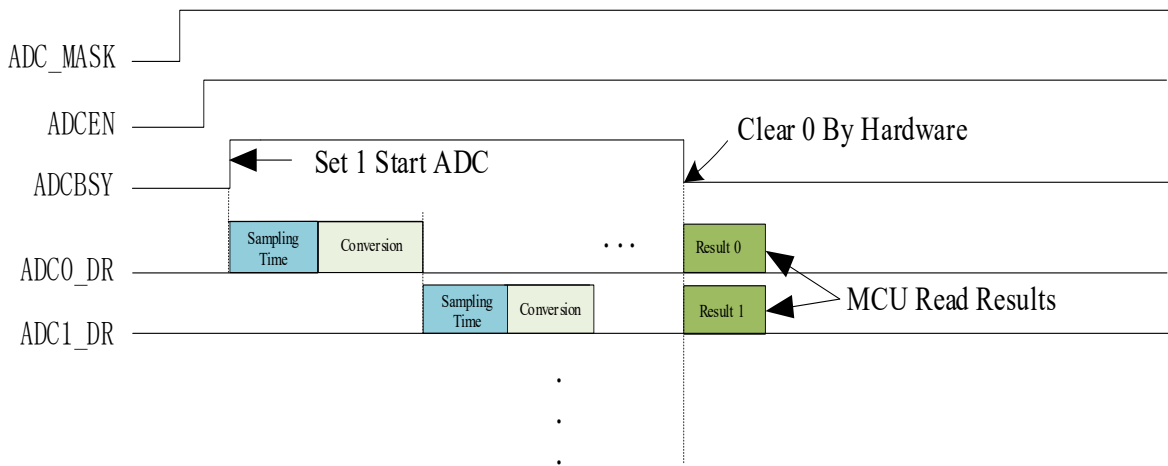


图 26-3 ADC 顺序采样时序图

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ADC\_MASK;
3. 设置每个通道的采样周期ADC\_SCYC(最小值为3);

4. 配置ADC\_CR[ADCEN] = 1, 使能ADC;
5. 配置ADC\_CR[ADCBSY] = 1, ADC开始工作;
6. 确认ADC\_CR[ADCBSY] = 0, 再读取ADC转换结果;

注: ADC转换顺序根据使能的通道号从低到高(即当使能通道2/3/4后, 依次采样转换通道2/3/4, 然后在确认ADC\_CR[ADCBSY] = 0后读取单次转换结果)。

### 26.3.2 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。通过 FOC\_CR0[UCSEL]选择通道 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。

当启动 Timer1 后, 通道 4 用于母线电流触发采样。配置 TIM1\_CR3[T1TIS]选择位置检测信号输入源为 ADC, 通道 10 用于 U 相电压采样, 通道 9 用于 V 相电压采样, 通道 8 用于 W 相电压采样。

### 26.3.3 输出数据格式

寄存器 ADCx\_DRH 和 ADCx\_DRL 包含每次转换完成时转换数据的高字节和低字节。数据可以根据 ADC\_CR[ADCALIGN]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 26-1 所示。ADCx\_DRH 和 ADCx\_DRL 寄存器中未使用的位被置为 0。

表 26-1 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

## 26.4 ADC 寄存器

### 26.4.1 ADC\_CR (0x4039)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADCEN	ADCBSY	RSV	ADCTM		ADCALIGN	ADCIE	RSV
类型	R/W	R/W1	-	R/W	R/W	R/W	R/W	-
复位值	0	0	-	0	0	0	0	-
位	名称	描述						
[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  注: ADC_MASK = 0 时此位写 1 无意义
[5]	RSV	保留
[4:3]	ADCTM	DRV 触发 ADC 启动模式 00: 不触发 01: 上升沿触发 10: 下降沿触发 11: 双沿触发
[2]	ADCALIGN	ADC 数据格式选择 0: ADC 数据右对齐, ADC 结果为 ADCx_DR[11:0] 1: ADC 数据左次高位对齐, ADC 结果为 ADCx_DR[14:3]  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  注: ADC 中断标志位见 INT_SR4 (0xF6)
[0]	RSV	保留

### 26.4.2 ADC\_MASK (0x4036, 0x4037)

ADC_MASKH (0x4036)									
位	15	14	13	12	11	10	9	8	
名称	RSV					CH10EN	CH9EN	CH8EN	
类型	-	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	
复位值	-	-	-	-	-	0	0	0	
ADC_MASKL (0x4037)									
位	7	6	5	4	3	2	1	0	
名称	CH7EN	CH6EN	CH5EN	CH4EN	CH3EN	CH2EN	CH1EN	CHOEN	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
位	名称	描述							
[15:11]	RSV	保留							
[10]	CH10EN	ADC 通道 10 使能							
[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]	CHOEN	ADC 通道 0 使能							

注: 触发采样模式无需配置 ADC\_MASK。

### 26.4.3 ADC\_SCYC1 (0x4035)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV				ADC_SCYCH		RSV	
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	-	-
复位值	-	-	-	-	1	0	-	-
位	名称	描述						
[7:4]	RSV	保留						
[3:2]	ADC_SCYCH [1:0]	ADC 采样周期设置, ADC 通道 8 ~ 10 共用设置 ADC_SCYCH[1] = 0: 采样周期为 (ADC_SCYC[1:0]*16 + 12) 个 ADC 时钟周期 ADC_SCYCH[1] = 1: 采样周期为 (ADC_SCYC[1:0]*16) 个 ADC 时钟周期						
[1:0]	RSV	保留						

### 26.4.4 ADC\_SCYC2 (0x4038)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC_SCYC[7:4]				ADC_SCYC[3:0]			
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	1	1	0	0	1	1
位	名称	描述						
[7:4]	ADC_SCYC[7:4]	ADC 采样周期设置, ADC 通道 5 ~ 7 共用设置 ADC_SCYC[7] = 0: 采样周期为 ADC_SCYC[6:4] 个 ADC 时钟周期 ADC_SCYC[7] = 1: 采样周期为 (ADC_SCYC[6:4]*8 + 7) 个 ADC 时钟周期						
[3:0]	ADC_SCYC[3:0]	ADC 采样周期设置, ADC 通道 0 ~ 4 共用设置 ADC_SCYC[3:0] 个 ADC 时钟周期						

### 26.4.5 ADC0\_DR (0x0FD8, 0x0FD9)

ADC0_DRH (0x0FD8)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC0_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC0_DRL (0x0FD9)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC0_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC0_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 0 转换结果 数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式  注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

**26.4.6 ADC1\_DR (0x0FDA, 0x0FDB)**

ADC1_DRH (0x0FDA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC1_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC1_DRL (0x0FDB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC1_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC1_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后，ADC 通道 1 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注：触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

**26.4.7 ADC2\_DR (0x0FDC, 0x0FDD)**

ADC2_DRH (0x0FDC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC2_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC2_DRL (0x0FDD)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC2_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC2_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后，ADC 通道 2 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注：触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

**26.4.8 ADC3\_DR (0x0FDE, 0x0FDF)**

ADC3_DRH (0x0FDE)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC3_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC3_DRL (0x0FDF)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC3_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[15:0]	ADC3_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 3 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器

### 26.4.9 ADC4\_DR (0x0FE0, 0x0FE1)

ADC4_DRH (0x0FE0)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC4_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC4_DRL (0x0FE1)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC4_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC4_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 4 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

### 26.4.10 ADC5\_DR (0x0FE2, 0x0FE3)

ADC5_DRH (0x0FE2)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC5_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC5_DRL (0x0FE3)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC5_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC5_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 5 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

### 26.4.11 ADC6\_DR (0x0FE4, 0x0FE5)

ADC6_DRH (0x0FE4)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC6_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC6_DRL (0x0FE5)								

位	7	6	5	4	3	2	1	0	
名称	ADC6_DR[7:0]								
类型	R	R	R	R	R	R	R	R	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
位	名称								描述
[15:0]	ADC6_DR								顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 6 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器

#### 26.4.12 ADC7\_DR (0x0FE6, 0x0FE7)

ADC7_DRH (0x0FE6)									
位	15	14	13	12	11	10	9	8	
名称	ADC7_DR[15:8]								
类型	R	R	R	R	R	R	R	R	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
ADC7_DRL (0x0FE7)									
位	7	6	5	4	3	2	1	0	
名称	ADC7_DR[7:0]								
类型	R	R	R	R	R	R	R	R	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
位	名称								描述
[15:0]	ADC7_DR								顺序采样模式 ADC 转换完成后, ADC 通道 7 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器

#### 26.4.13 ADC8\_DR (0x0FE8, 0x0FE9)

ADC8_DRH (0x0FE8)									
位	15	14	13	12	11	10	9	8	
名称	ADC8_DR[15:8]								
类型	R	R	R	R	R	R	R	R	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
ADC8_DRL (0x0FE9)									
位	7	6	5	4	3	2	1	0	
名称	ADC8_DR[7:0]								
类型	R	R	R	R	R	R	R	R	
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	
位	名称								描述
[15:0]	ADC8_DR								顺序扫描采样 ADC 转换完成后, ADC 通道 8 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注: 触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器

**26.4.14 ADC9\_DR (0x0FEA, 0x0FEB)**

ADC9_DRH (0x0FEA)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC9_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC9_DRL (0x0FEB)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC9_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC9_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后，ADC 通道 9 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注：触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

**26.4.15 ADC10\_DR (0x0FEC, 0x0FED)**

ADC10_DRH (0x0FEC)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	ADC10_DR[15:8]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
ADC10_DRL (0x0FED)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	ADC10_DR[7:0]							
类型	R	R	R	R	R	R	R	R
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:0]	ADC10_DR	顺序采样模式 ADC 转换完成后，ADC 通道 10 转换结果数据根据 ADC_CR[ADCALIGN] 选择对齐方式 注：触发采样模式 ADC 结果不会更新至此寄存器						

## 27 DMA

### 27.1 DMA 功能与说明

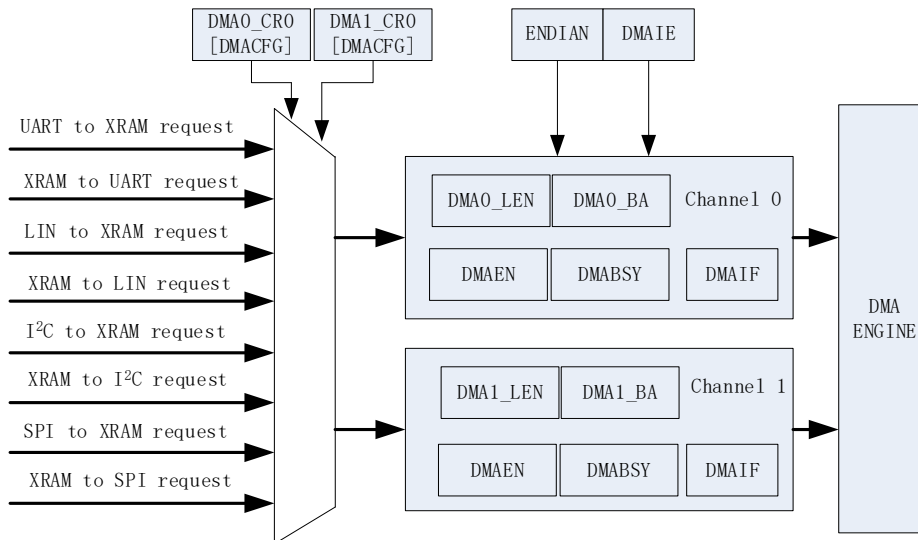


图 27-1 DMA 功能框图

DMA 模块包含一个双通道的 DMA 控制器，它实现了外设(SPI、UART、I<sup>2</sup>C、LIN)与 XRAM 之间的直接数据传输(不可以读取 IRAM 数据)。传输过程中 DMA 对 XRAM 的访问动作不干扰 CPU 对 XRAM 的正常读写操作。传输的长度和 XRAM 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。

启动 DMA 的操作过程为:

1. 配置并使能外设，再根据需求通过 DMAx\_CR0[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 XRAM 起始地址，然后写 DMAx\_CR0[DMAEN]和 DMAx\_CR0[DMABSY] = 1，启动 DMA;
3. 数据传输完毕后，中断标志位 INT\_SR4[DMAxIF]硬件置 1，软件将其清 0;
4. 写 DMAx\_CR0[DMABSY] = 1，即可再次启动 DMA。

## 27.2 DMA 寄存器

### 27.2.1 DMA0\_CR0 (0x403A)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DMAEN	DMABSY	DMACFG			DMAOIE	ENDIAN	RSV
类型	R/W	R/W1	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	-
复位值	0	0	0	0	0	0	0	-
位	名称	描述						
[7]	DMAEN	DMA 通道 0 使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	DMABSY	DMA 通道 0 忙状态/启动 读: 0: 通道 0 空闲 1: 通道 0 正在传输 写: 0: 无意义 1: 启动通道 0 开始传输						
[5:3]	DMACFG	DMA 通道 0 外设与方向选择位 000: 从 UART 到 XRAM 001: 从 XRAM 到 UART 010: 从 I <sup>2</sup> C 到 XRAM 011: 从 XRAM 到 I <sup>2</sup> C 100: 从 SPI 到 XRAM 101: 从 XRAM 到 SPI 110: 从 LIN 到 XRAM 111: 从 XRAM 到 LIN  注: 当通道 0 忙状态时不可改变; LIN 读写方向由 LIN_CR[LINRW]决定						
[2]	DMAOIE	DMA 通道 0 中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: ADC 中断标志位见 INT_SR4 (0xF6)						
[1]	ENDIAN	DMA 数据传输顺序 0: 高位字节先接收或发送 1: 低位字节先接收或发送  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; 当通道 0 或 1 忙状态时不可改变。						
[0]	RSV	保留						

**27.2.2 DMA1\_CR0 (0x403B)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DMAEN	DMABSY	DMACFG			DBGSW	DBGEN	DMA1IE
类型	R/W	R/W1	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	DMAEN	DMA 通道 1 使能 0: 不使能 1: 使能						
[6]	DMABSY	DMA 通道 1 忙状态/启动 读: 0: 通道 1 空闲 1: 通道 1 正在传输 写: 0: 无意义 1: 启动通道 1 开始传输						
[5:3]	DMACFG	DMA 通道 1 外设与方向选择 000: 从 UART 到 XRAM 001: 从 XRAM 到 UART 010: 从 I <sup>2</sup> C 到 XRAM 011: 从 XRAM 到 I <sup>2</sup> C 100: 从 SPI 到 XRAM 101: 从 XRAM 到 SPI 110: 从 LIN 到 XRAM 111: 从 XRAM 到 LIN  注: 当通道 1 忙状态时不可改变; LIN 读写方向由 LIN_CR[LINRW] 决定						
[2]	DBGSW	Debug 模式指向区域选择 0: Debug 区域选择 XSFR(导出地址空间: 0x4020 ~ 0x40FF) 1: Debug 区域选择 XRAM(导出地址空间: 0x0000 ~ 0x0317)						
[1]	DBGEN	Debug 模式使能 当 DMA1_CR0[DMACFG] 配置为 101, DMA1_CR0[DBGEN] = 1 时, DMA 将进入 Debug 模式。此时使能 SPI, DMA 自动将 DMA1_CR0[DBGSW] 指定区域内的相关数据通过 MOSI 发送出去, DMA1_BA/DMA1_LEN 用于指定区域内相关数据的起始地址和范围。 0: 不使能 1: 使能  注: 进入 Debug 模式后, DMA 通道 1 中断自动关闭						
[0]	DMA1IE	DMA 通道 1 中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: ADC 中断标志位见 INT_SR4 (0xF6)						

**27.2.3 DMA0\_LEN (0x403C)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		DMA0_LEN					
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5:0]	DMA0_LEN	DMA 通道 0 传输长度配置 读: DMA 通道 0 目前传输的字节是第几字节(0 表示第 1 字节) 写: DMA 通道 0 XRAM 数据传输长度 注: 当通道 0 忙状态时不可改变。当 DMA0_CRO[ENDIAN] = 1(低字节先接收或发送)时, 推荐 DMA0_LEN 设置为奇数。						

**27.2.4 DMA0\_BA (0x403E, 0x403F)**

DMA0_BAH(0x403E)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV				DMA0_BA[11:8]			
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
DMA0_BAL(0x403F)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DMA0_BA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:12]	RSV	保留						
[11:0]	DMA0_BA	DMA 通道 0 传输数据起始地址设定 DMA 通道 0 XRAM 首地址 当通道 0 忙状态时不可改变  注: 通道 0 传输的 XRAM 地址空间区域为: DMA0_BA[11:0] ~ (DMA0_BA[11:0] + DMA0_LEN[5:0])						

**27.2.5 DMA1\_LEN (0x403D)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		DMA1_LEN					
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5:0]	DMA1_LEN	DMA 通道 1 传输数据长度配置 读: DMA 通道 1 目前传输的字节是第几字节(0 表示第 1 字节) 写: DMA 通道 1 XRAM 数据传输长度 注: 当通道 1 忙状态时不可改变。当 DMA0_CRO[ENDIAN] = 1(低字节先接收或发送)时, 推荐 DMA1_LEN 设置为奇数。						

**27.2.6 DMA1\_BA (0x4040, 0x4041)**

DMA1_BAH (0x4040)								
位	15	14	13	12	11	10	9	8
名称	RSV				DMA1_BA[11:8]			
类型	-	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
DMA1_BAL (0x4041)								
位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	DMA1_BA[7:0]							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[15:12]	RSV	保留						
[11:0]	DMA1_BA	DMA 通道 1 传输数据起始地址配置 DMA 通道 1 XRAM 起始地址 当通道 1 忙状态时不可改变  注：通道 1 传输数据的 XRAM 地址空间区域为：DMA1_BA[11:0] ~ (DMA1_BA[11:0] + DMA1_LEN[5:0])						

注：当 DMA 通道外设选择为 I<sup>2</sup>C 时(包括从 I<sup>2</sup>C 到 XRAM、从 XRAM 到 I<sup>2</sup>C)，I<sup>2</sup>C 通讯的 START + Address 中断需 MCU 软件清除。I<sup>2</sup>C 为从机时，若遇到 STOP，配置 I2C\_SR[I2CSTP] = 0 以清除 I<sup>2</sup>C 中断，并重新启动 DMA 传输。

## 28 VREF

### 28.1 VREF 模块的操作说明

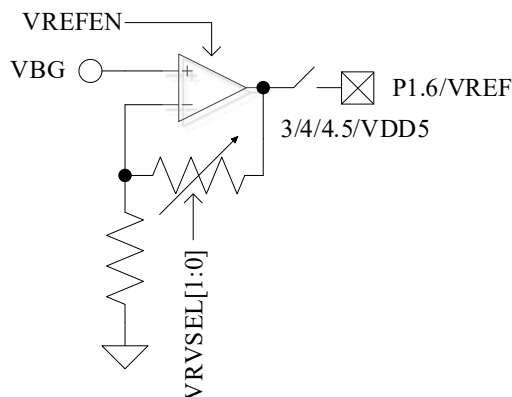


图 28-1 VREF 模块输入输出端口

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\_CR[VREFEN] = 1，使能 VREF。VREF\_CR[VRVSEL] 选择输出电压。配置 P1\_AN[6] = 1，输出 VREF 电压至 P1.6。

## 28.2 VREF 寄存器

### 28.2.1 VREF\_CR (0x404F)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	VRVSEL		RSV	VREFEN	RSV			
类型	R/W	R/W	-	R/W	-	-	-	-
复位值	0	0	-	0	-	-	-	-
位	名称	描述						
[7:6]	VRVSEL	VREF 模块输出参考电压选择 00: 4.5V 01: VDD5 10: 3V 11: 4V						
[5]	RSV	保留						
[4]	VREFEN	VREF 模块使能 0: 不使能。设置 P1_AN[6] = 1，外部参考电压从 P1.6 输入 1: 使能。设置 P1_AN[6] = 1，内部 VREF 参考送出至 P1.6 引脚。引脚外接 1μF ~ 4.7μF 电容提高 VREF 稳定性。						
[3:0]	RSV	保留						

## 29 电流采样

### 29.1 电流采样说明

芯片内部集成有电流采样模块，分别对 U/V/W 三相电流以及母线电流进行采样放大，并送入 ADC 模块进行转换。其中，配置 AMP\_CR0[AMP1EN] = 1 启动 U 相电流采样，配置 AMP\_CR0[AMP2EN] = 1 启动 V 相电流采样，配置 AMP\_CR0[AMP3EN] = 1 启动 W 相电流采样，使能 AMP\_CR0[AMP4EN] 启动母线电流采样。参考寄存器 AMP\_CR1，配置相应的放大倍数。当配置 AMP\_CR0[AMPxEN] = 1 启动电流采样时，需同时配置 AMP\_CR0[CALOE] = 1，进行初始化。

### 29.2 电流采样寄存器

#### 29.2.1 AMP\_CR0 (0x404E)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CALOE	RSV			AMP3EN	AMP2EN	AMP1EN	AMP4EN
类型	R/W	-	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	-	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	CALOE	电流采样初始化 0: 正常工作 1: 初始化						
[6:4]	RSV	保留						
[3]	AMP3EN	W 相电流采样使能 0: 不使能 1: 使能						
[2]	AMP2EN	V 相电流采样使能 0: 不使能 1: 使能						
[1]	AMP1EN	U 相电流采样使能 0: 不使能 1: 使能						
[0]	AMP4EN	母线电流采样使能 0: 不使能 1: 使能						

#### 29.2.2 AMP\_CR1 (0x4034)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	IBUS_GAIN		RSV	AMP4_ISCALE		RSV	AMP_GAIN	
类型	R/W	R/W	-	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	0	0	-	0	0	-	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	IBUS_GAIN	母线电流放大倍数设置，见AMP_CR1 (0x4034) 章节AMP_CR1[AMP_GAIN]说明						
[5]	RSV	保留						

[4:3]	AMP4_ISCALE	FOC电流放大倍数设置 00: 8 倍 01: 4 倍 10: 2 倍 11: 不放大
[2]	RSV	保留
[1:0]	AMP_GAIN	U/V/W 三相电流放大倍数设置 00: 8 倍 01: 12 倍 10: 16 倍 11: 20 倍

## 30 比较器

### 30.1 比较器操作说明

#### 30.1.1 比较器 CMP3

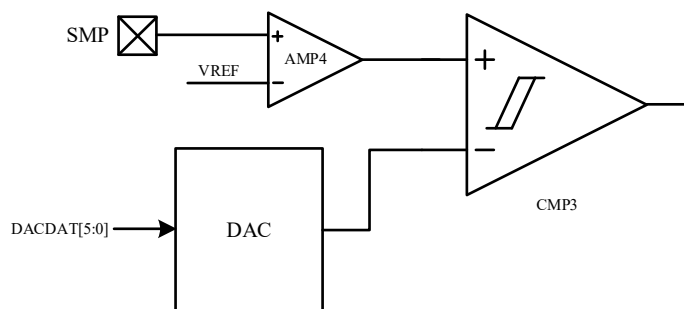


图 30-1 CMP3 示意图

##### 30.1.1.1 母线过流保护

当母线过流保护信号产生时，自动将  $DRV\_OUT[MOE]$  清 0，输出空闲电压，停止电机的驱动，保护芯片和电机。配置  $EVT\_FILT[MOEMD] = 01$ ，使能母线过流保护功能，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  $EVT\_FILT[MOEMD] = 00$ ，母线过流时不会自动关闭输出，但会产生母线过流保护中断请求。

母线过流保护事件可配置  $EVT\_FILT[MOEMD]$  不为 00 选择由 CMP3 中断或外部中断 INT0 产生。配置  $TCON[IT0]$  选择外部中断 INT0 的中断触发沿，外部中断 INT0 产生过流保护信号，此时保护中断为外部中断 INT0。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。

母线过流保护事件的输入信号可配置  $EVT\_FILT[EFDIV]$  使能滤波功能，通过配置  $EVT\_FILT[EFDIV] = 01/10/11$  选择滤波宽度为 4/9/19 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 4/9/19 个时钟周期。

##### 30.1.1.2 逐波限流

逐波限流功能应用于基于方波控制的 BLDC 电机驱动。当过流保护事件发生， $DRV\_OUT[MOE]$  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  $CMP\_CR0[CMP3IM] = 11$ ， $DRV\_OUT[MOE]$  在 CMP3OUT 的上升沿清 0，产生保护动作。配置  $EVT\_FILT[MOEMD] = 10$ ，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  $10\mu s$  之后，自动使能  $DRV\_OUT[MOE]$ ，

恢复驱动。如果配置  $EVT\_FILT[MOEMD] = 11$ ，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  $5\mu s$  之后，自动使能  $DRV\_OUT[MOE]$ ，恢复驱动。

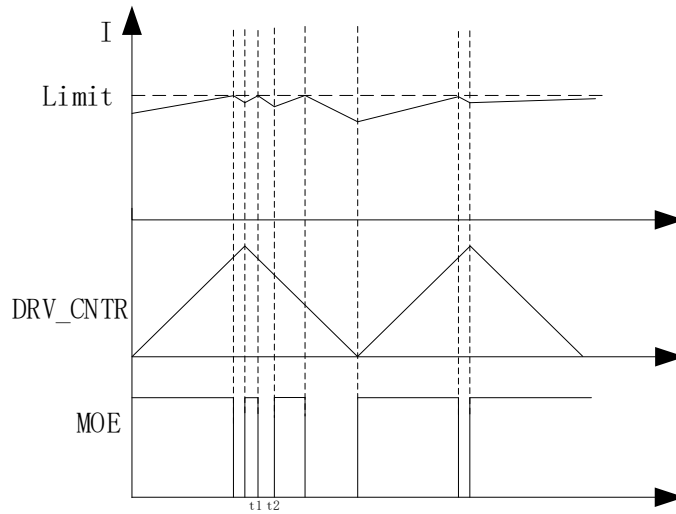


图 30-2  $EVT\_FILT[MOEMD] = 10$ ，逐波限流波形( $t_2 - t_1 = 10\mu s$ )

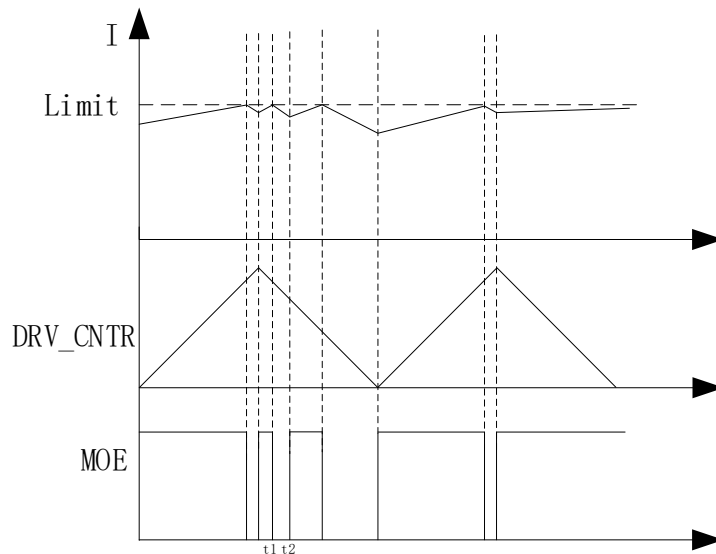


图 30-3  $EVT\_FILT[MOEMD] = 11$ ，逐波限流波形( $t_2 - t_1 = 5\mu s$ )

### 30.1.2 比较器组 CMPG

比较器组 CMPG 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。

### 30.1.2.1 有内置电阻三比较器模式

配置  $CMP\_CR2[CMP0MOD] = 01$ ，选择有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。

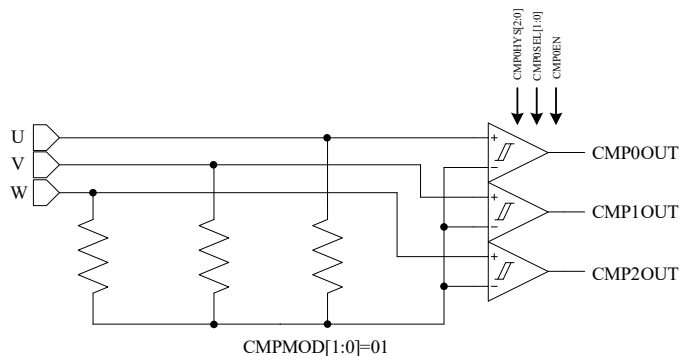


图 30-4 有内置电阻三比较器模式，无功能转移

### 30.1.2.2 双比较器模式

配置  $CMP\_CR2[CMP0MOD] = 10$ ，选择双比较器模式，输入输出端口如图 30-5 所示，用于电机转速检测。双比较器的正输入端连在一起，接 U 相，负输入端分别接 V 相和 W 相，输出分别为  $CMP0OUT$  和  $CMP1OUT$ 。此模式下具体比较器工作个数由  $CMP\_CR2[CMP0SEL]$  决定， $CMP\_CR2[CMP0SEL] = 00$ ， $CMP0$  和  $CMP1$  双比较器同时工作，为推荐设置； $CMP\_CR2[CMP0SEL] = 01$ ，仅  $CMP0$  工作， $CMP1$  闲置； $CMP\_CR2[CMP0SEL] = 10$ ，仅  $CMP1$  工作， $CMP0$  闲置。

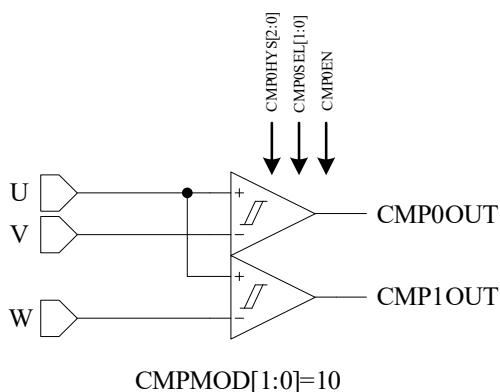


图 30-5 双比较器模式

$CMP0/CMP1/CMP2$  的输出信号送入滤波和采样模块后送入 Timer1。

### 30.1.3 比较器采样

比较器采样功能主要用于方波驱动和 RSD 顺逆风判断功能，可消除来自于驱动电路的开关干扰。应用于方波驱动请参考 16.1.2.3，应用于 RSD 请参考章节 17.1.7.1。

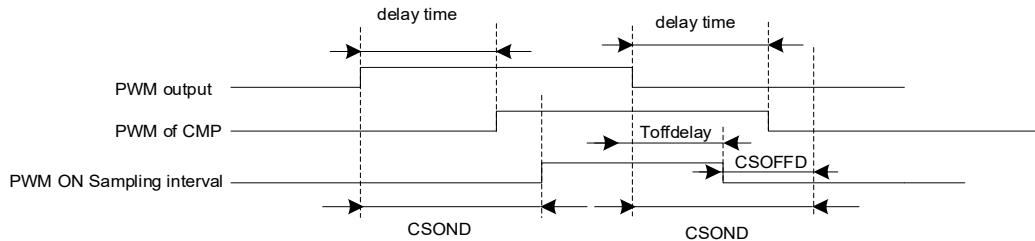


图 30-6 PWM ON 采样模式

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 **delay time** 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。

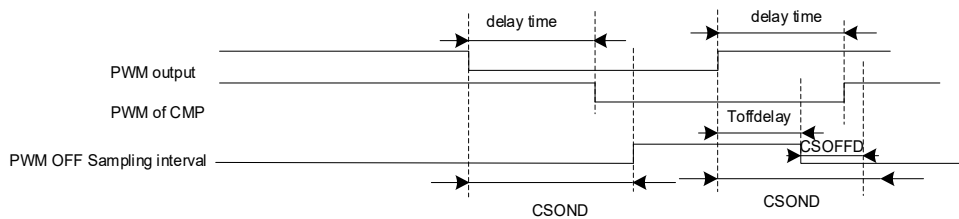


图 30-7 PWM OFF 采样模式

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  $CMP\_CR3[SAMSEL] = 00$ ，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。

## 30.2 比较器寄存器

### 30.2.1 CMP\_CR0 (0xD5)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CMP3IM		CMP2IM		CMP1IM		CMP0IM	
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	CMP3IM	CMP3 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: 上升沿使 DRV_OUT[MOE]清 0, 中断事件标志位 INT_SR3[CMP3IF]置 1, 但不使能中断(注: 用于逐波限流功能, 需配置 EVT_FILT[MOEMD] = 10/11)。						
[5:4]	CMP2IM	CMP2 中断模式 参考 CMP_CR0[CMPOIM]描述						
[3:2]	CMP1IM	CMP1 中断模式 参考 CMP_CR0[CMPOIM]描述						
[1:0]	CMPOIM	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						

### 30.2.2 CMP\_CR1 (0xD6)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		CMP3MOD	CMP3EN	CMP3HYS	RSV	CMPOHYS	
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	-	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5]	CMP3MOD	CMP3 的模式选择 0: 保留 1: 运放后送入比较器, 参考图 30-1						
[4]	CMP3EN	CMP3 使能 0: 不使能 1: 使能						
[3]	CMP3HYS	CMP3 的迟滞电压选择 0: 无迟滞 1: 9mV						
[2]	RSV	保留						
[1:0]	CMPOHYS	CMP0/1/2 迟滞电压选择: 00: 无迟滞 01: ± 3mV 10: + 6mV 11: ± 12mV						

**30.2.3 CMP\_CR2 (0xDA)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	CMPOMOD		CMPOSEL		RSV		CMPOEN
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	-	-	R/W
复位值	-	0	0	0	0	-	-	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6:5]	CMPOMOD	CMPG 的模式设置 00: 保留 01: BEMF 模式, 内置中心点 10: 双比较器模式, U 相与 V 相比较, U 相与 W 相比较 11: 保留						
[4:3]	CMPOSEL	CMPG 的端口组合选择, 与 CMP_CR2[CMPOMOD]组合使用。默认值为 00。在方波驱动应用下, 由 TIM1_DBRx[TICPE]的设定值自动控制 CMP_CR2[CMPOSEL], 控制各比较器的使能。 表 30-1 CMPG 端口与 CMP CR2[CMPOMOD]组合的功能描述						
		CMPOMOD	CMPOSEL	功能描述				
		01	00	CMPG 工作在 3 比较器轮询模式, 正端在 U、V、W 之间自动轮流选择, 负端固定接内置 BEMF 电阻的中心点, 其输出结果分别送至 CMPO_OUT、CMP1_OUT、CMP2_OUT, 参考图 30-4。				
			01	CMPG 选择 CMPO 对应的端口组合, 正端接 U, 负端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMPO_OUT。				
			10	CMPG 选择 CMP1 对应的端口组合, 正端接 V, 负端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMP1_OUT。				
			11	CMPG 选择 CMP2 对应的端口组合, 正端接 W, 负端接内置 BEMF 电阻的中心点, 输出接 CMP2_OUT				
		10	00	CMPG 工作在 2 比较器轮询模式, 正端固定连接 U 端, 负端在 V、W 之间自动轮流选择, 其输出结果分别送至 CMPO_OUT、CMP1_OUT, 参考图 30-5。				
			01	CMPG 选择 CMPO 对应的端口组合, 即正端接 U, 负端接 V, 输出接 CMPO_OUT				
			10	CMPG 选择 CMP1 对应的端口组合, 正端接 U, 负端接 W, 输出接 CMP1_OUT				
		[2:1]	RSV	保留				
[0]	CMPOEN	CMPO/1/2使能 0: 不使能 1: 使能						

**30.2.4 CMP\_CR3 (0xDC)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CMPDTEN	DBGSEL		SAMSSEL		RSV		
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	-	-	-
复位值	0	0	0	0	0	-	-	-

位	名称	描述
[7]	CMPDTEN	比较器死区采样使能 0: 不使能 1: 使能
[6:5]	DBGSEL	输出 Debug 信号选择, 输出到 P1.5 端口 00: 不使能 Debug 信号输出 01: 方波屏蔽续流结束和检测到过零点信号 10: ADC 触发信号 11: 比较器采样区间
[4:3]	SAMSEL	CMP0、CMP1、CMP2 和 ADC 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
[2:0]	RSV	保留

### 30.2.5 CMP\_CR4 (0xE1)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV					FAEN	RSV	
类型	-	-	-	-	-	R/W	-	-
复位值	-	-	-	-	-	0	-	-

位	名称	描述
[7:3]	RSV	保留
[2]	FAEN	滤波采样系数扩大使能 使能后, TIM1_CR3[T1INM]和 CMP_SAMR 的基准时钟提高 4 倍 0: 不使能 1: 使能
[1:0]	RSV	保留

**30.2.6 CMP\_SAMR (0x40AD)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CSOND				CSOFFD			
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	1
位	名称	描述						
[7:4]	CSOND	CMP0/CMP1/CMP2延迟开启采样时间 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CMP0/CMP1/CMP2延迟开启采样，从而避开干扰。延迟时间根据CMP_CR4[FAEN]设置是否乘4倍。 CMP_CR4[FAEN] = 0: 延迟开启采样时间 = 8*CMP_SAMR[CSOND]*T CMP_CR4[FAEN] = 1: 延迟开启采样时间 = 32*CMP_SAMR[CSOND]*T  注： ■ CMP_SAMR[CSOND]必须大于或等于CMP_SAMR[CSOFFD] ■ 应用于BLDC驱动请参考采样 ■ 应用于RSD请参考RSD的比较器采样						
[3:0]	CSOFFD	CMP0/CMP1/CMP2提前关闭采样时间 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。提前关闭采样时间根据CMP_CR4[FAEN]设置是否乘4倍。 CMP_CR4[FAEN] = 0: 关闭采样时间 = 8*CMP_SAMR[CSOFFD]*T CMP_CR4[FAEN] = 1: 关闭采样时间 = 32*CMP_SAMR[CSOFFD]*T  注： ■ CMP_SAMR[CSOND]必须大于或等于CMP_SAMR[CSOFFD] ■ 应用于BLDC驱动请参考采样 ■ 应用于RSD请参考RSD的比较器采样						

**30.2.7 CMP\_SR (0xD7)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV				CMP3OUT	CMP2OUT	CMP1OUT	CMPOOUT
类型	-	-	-	-	R	R	R	R
复位值	-	-	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:4]	RSV	保留						
[3]	CMP3OUT	CMP3 比较结果						
[2]	CMP2OUT	CMP2 比较结果						
[1]	CMP1OUT	CMP1 比较结果						
[0]	CMPOOUT	CMPO 比较结果						

**30.2.8 HALL\_CR (0xE2)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	HALL_IE	RSV		HALLSEL	HALL2	HALL1	HALLO
类型	-	R/W	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	-	-	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	HALL_IE	Hall 中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: Hall 中断事件标志位见 INT_SR3 (0xF5)						
[5:4]	RSV	保留						
[3]	HALLSEL	Hall 信号输入选择 0: P1.4/P0.5/P0.6 1: P1.4/P0.2/P0.3						
[2]	HALL2	Hall2 的电平 0: Hall2 当前的电平为 0 1: Hall2 当前的电平为 1						
[1]	HALL1	Hall1 的电平 0: Hall1 当前的电平为 0 1: Hall1 当前的电平为 1						
[0]	HALLO	Hall0 的电平 0: Hall0 当前的电平为 0 1: Hall0 当前的电平为 1						

**30.2.9 LCP\_DR (0x404A)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		DACDAT					
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5:0]	DACDAT	CMP3 配合使用的电压档位选择。配合 CMP3MOD 使用。该电压档位需要使能 VREF_CR[VREFEN] = 1。当 VREF = 4.5V 时， 当 CMP_CR1[CMP3MOD] = 0 时，调节电压范围为：35mV ~ 589mV，step 为 8.79mV； 当 CMP_CR1[CMP3MOD] = 1 时，调节电压范围为：2.285V ~ 4.5V，step 为 35.16mV。						

**30.2.10 EVT\_FILTER (0xD9)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	OVPF	OCPF	RSV	MOEMD		RSV	EFDIV	
类型	R	R	-	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	0	0	-	0	0	-	0	0
位	名称	描述						

[7]	OVPF	过压保护标志位 0: 未发生过压保护 1: 过压保护
[6]	OCPF	过流保护标志位 0: 未发生过流保护 1: 过流保护
[5]	RSV	保留
[4:3]	MOEMD	MOE 硬件清 0 和使能选择 发生电流保护事件会使 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 10 $\mu$ s 后自动使能 MOE (用于方波驱动)。 11: MOE 自动清 0, 且在 Driver 计数器的上溢下溢事件或 5 $\mu$ s 后自动使能 MOE (用于方波驱动)。
[2]	RSV	保留
[1:0]	EFDIV	电流保护事件滤波宽度 00: 不滤波 01: 4 个系统时钟周期 10: 9 个系统时钟周期 11: 19 个系统时钟周期

## 31 过压保护(OVP)和过流保护(OCP)

### 31.1 OVP

芯片内置过压保护，用于当母线电压大于设定值时，自动关闭输出，防止 MOS 被烧坏。

配置 OVCP\_CR[OVDPIS] = 0，使能过压保护功能。OVP\_CR[OVPSSEL] = 0 选择母线电压大于 24V 时产生过压保护事件，OVP\_CR[OVPSSEL] = 1 选择母线电压大于 30V 时产生过压保护事件。当母线电压大于设定值时，EVIT\_FILT[OVPF]置 1，产生过压保护事件，硬件自动将 DRV\_OUT[MOE]清 0。

### 31.2 OCP

芯片内置 2A 过流保护，当有过流事件发生时，自动关闭输出，防止 MOS 被烧坏。

配置 OVCP\_CR[OCPPIS] = 0，使能过流保护功能。当有过流事件发生时，EVIT\_FILT[OCPPF]置 1，并产生过流保护事件，硬件自动将 DRV\_OUT[MOE]清 0。

过流保护事件的输入信号通过配置 OVCP\_CR[OCPPSEL] = 00/01/10/11 选择滤波宽度为 0/4/9/19 个时钟周期，滤波后的信号会比滤波前的信号延迟 0/4/9/19 个时钟周期。

## 31.3 OVP & OCP 寄存器

### 31.3.1 OVCP\_CR (0xE3)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	OVPSSEL	OVPIE	OVDPIS	OCPPSEL		OCPIE	OCPPIS
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	OVPSSEL	过压保护电压选择 0: 24V 1: 30V						
[5]	OVPIE	过压保护中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: OVP 中断标志位见 INT_SR4 (0xF6)						
[4]	OVDPIS	过压保护关闭 0: 不关闭 1: 关闭						
[3:2]	OCPPSEL	过流保护滤波选择 00: 不滤波 01: 4 个系统时钟周期 10: 9 个系统时钟周期 11: 19 个系统时钟周期						

[1]	OCPIE	过流保护中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: OCP 中断标志位见 INT_SR4 (0xF6)
[0]	OCPDIS	过流保护关闭 0: 不关闭 1: 关闭

## 32 电源模块

### 32.1 低压检测

#### 32.1.1 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。

#### 32.1.2 低压检测操作说明

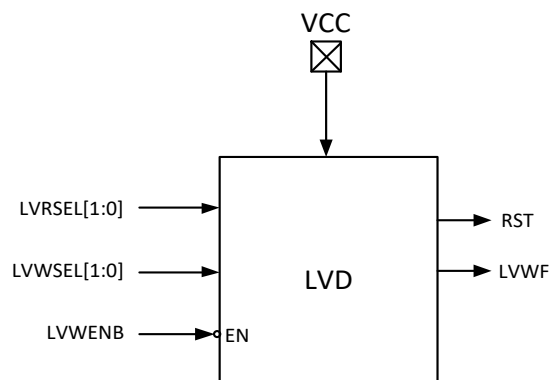


图 32-1 低电压检测模块

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 6/7/8/9V 四个档位, 可使能中断。使能中断后当 VCC 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 VCC 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 32-2 所示。

其中, LVR Config 设置低电压复位电压, LVW Interrupt En 设置低电压中断使能, LVW Config 设置低电压预警电压。

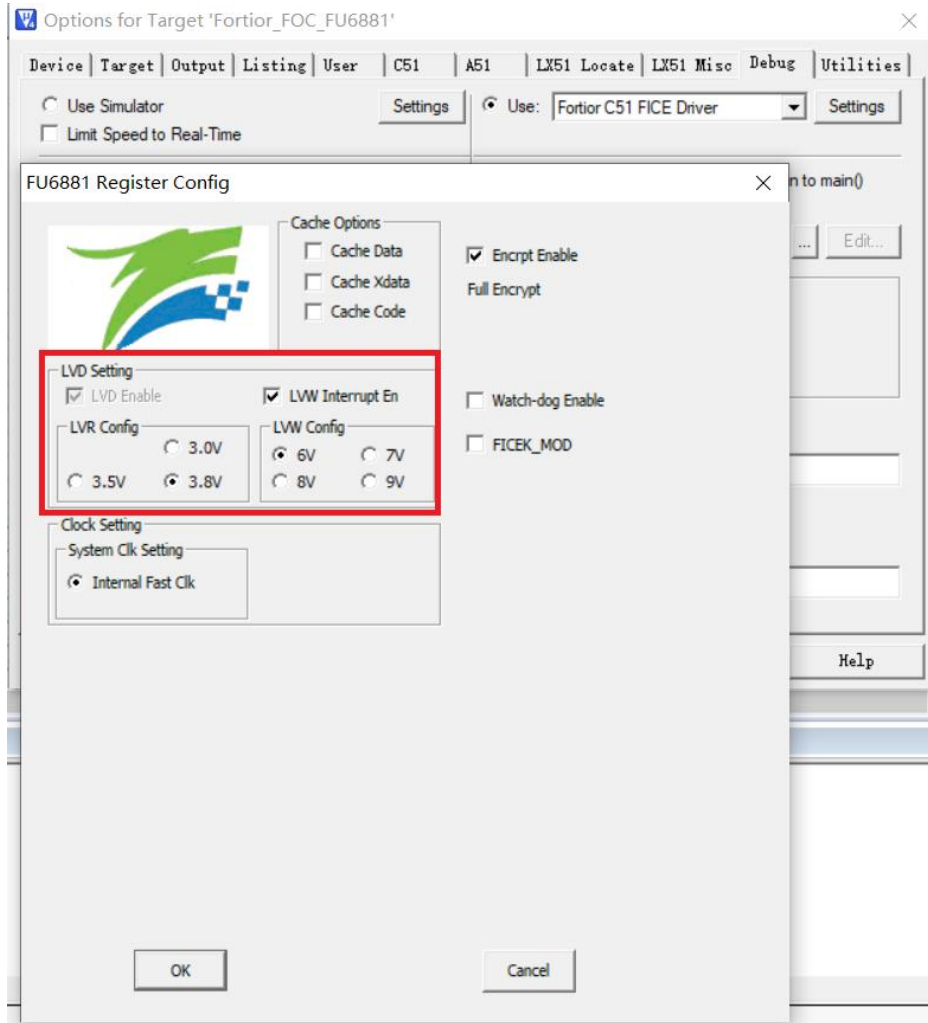


图 32-2 低电压预警电压、中断配置以及低电压复位电压设置

### 32.1.3 低压检测寄存器

#### 32.1.3.1 LVSR (0xDB)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		EXTOCFG			TSDF	LVWF	RSV
类型	-	-	R	R/W	R/W	R	R	-
复位值	-	-	0	0	0	0	0	-
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5:3]	EXTOCFG	外部中断 INTO 接口选择 000: P0.0 001: P0.1 010: P0.2 011: P0.3 100: P0.4 101: P1.0						

		110: P1.1 111: P1.5
[2]	TSDF	过温状态位 0: 当前温度未超过设定温度 1: 当前温度超过设定温度  注: 此标志位常与 TSD 中断事件标志位 INT_SR3[6] 配合使用
[1]	LVWF	VCC 低电压标志位 反映当前是否处于低电压状态 0: 当前无低电压报警 1: 当前低电压报警
[0]	RSV	保留

## 33 EEPROM

### 33.1 EEPROM 简介

EEPROM 是一种可编程只读存储设备，具有随机读、页写和字节读/写等操作模式。其数据发送的起始、结束状态如图 33-1 所示：SCL 为高时 SDA 下拉为起始状态；SCL 为高时 SDA 上拉为结束状态。EEPROM 分有设备地址和字节地址，设备地址如图 33-2 所示，由 6 位 ID 地址和 1 位块区选择位组成。ID 地址是从机寻址位，默认为 0xA0；B0 是 2k 块区的选择位。字节地址为 8 个 bit，字节地址的高 4 位是页地址。

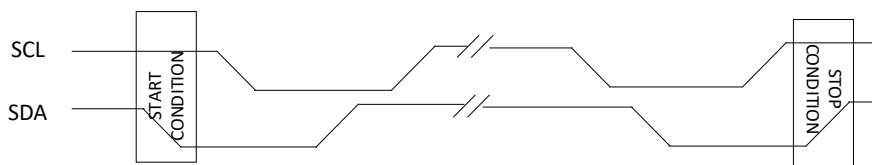


图 33-1 EEPROM 的启动、停止状态

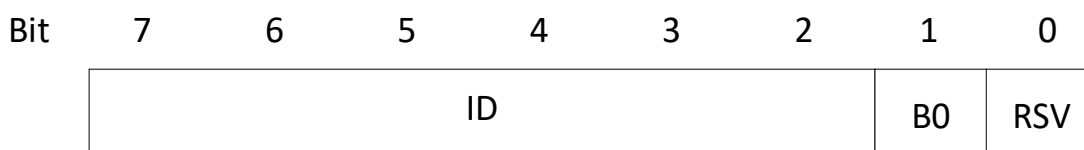


图 33-2 从机设备地址

设备上电期间，不响应任何指令，直到供电电压(VCC)高于复位阈值电压。一旦 VCC 高于复位阈值电压，设备将复位并进入待机模式。这可以避免在上电阶段发生意外的写入操作。断电期间，一旦 VCC 降至上电阈值电压以下，设备将进入待机模式。此外，如果内部没有在执行写入操作，设备在收到停止命令后将处于待机模式。

### 33.2 主要特性

- 具有 1MHz 和 400kHz 两种模式；
- 大小为 2k bits (256 x 8bits)的内存阵列，共 16 页，每页 16 bytes；
- 利用 I<sup>2</sup>C 实现数据读写。读模式下，数据可在任意位置连续读取任意长度；写模式下，最多可写入 16 个字节，只可在字节地址的所在页写入数据；
- 自定时写入周期：5ms

### 33.3 操作说明

#### 33.3.1 读模式

1. 配置 PH\_SEL2[I2CFS] = 1, I<sup>2</sup>C 访问 EEPROM 使能;
2. 通过配置 I2C\_ID[7:0] = 0xA0 匹配 EEPROM 设备码。配置 I2C\_ID[1]来选择 EEPROM 块区位置;
3. 配置 I2C\_CR[I2CMS] = 1, 设置为主机模式;
4. 配置 I2C\_CR[I2CSPD], 设置时钟 SCL 频率;
5. 配置 I2C\_SR[DMOD] = 0, 设置写方向;
6. 配置 I2C\_CR[I2CEN] = 1, 使能 I<sup>2</sup>C;
7. 配置 I2C\_SR[I2CSTA] = 1, 发送 START 和地址。收到 ACK 信号, 则与 EEPROM 匹配成功, 可进行下一步操作; 收到 NACK 信号, 则与 EEPROM 匹配失败。
8. 配置 I2C\_DR, 发送字节地址。该地址为后续读取动作的起始地址。
9. 配置 I2C\_SR[DMOD] = 1, 设置读方向, 保持 I2C\_ID[7:2]不变, 将 I2C\_SR[I2CSTA]置 1, 改变 I<sup>2</sup>C 数据方向, EEPROM 应答回 ACK 后, 开始数据读取。
10. 收到 EEPROM 发送的数据内容后, 回 NACK 即停止数据读取; 回应 ACK, EEPROM 将在字节地址基础上, 地址自增至下一位字节, 并发送该地址的字节内容, 可通过多次应答 ACK 信号, 完成页读取或扇区读取。
11. 停止通讯: 主机发送 STOP 信号, 停止通讯。

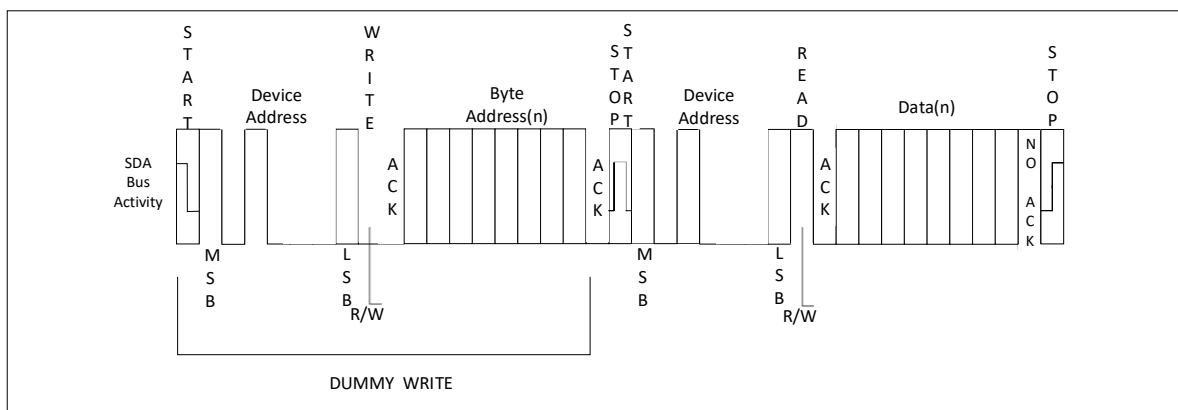


图 33-3 随机读

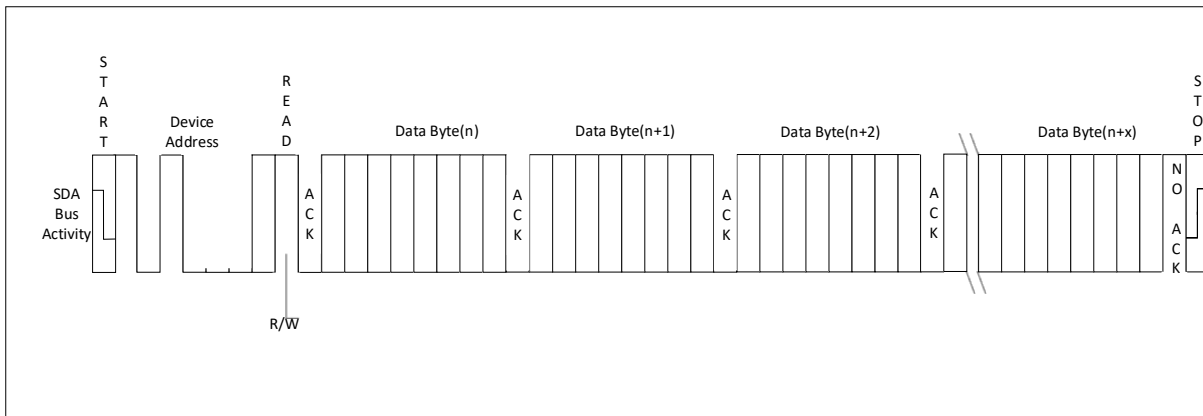


图 33-4 连续读

### 33.3.2 写模式

1. 配置 PH\_SEL2[I2CFS] = 1, I<sup>2</sup>C 访问 EEPROM 使能;
2. 通过配置 I2C\_ID[7:0] = 0xA0 来匹配 EEPROM 设备码, 配置 I2C\_ID[1]来选择 EEPROM 块区位置。
3. 配置 I2C\_CR[I2CMS] = 1, 设置为主机模式;
4. 配置 I2C\_CR[I2CSPD], 设置时钟 SCL 频率;
5. 配置 I2C\_SR[DMOD] = 0, 设置写方向;
6. 配置 I2C\_CR[I2CEN] = 1, 使能 I<sup>2</sup>C;
7. 配置 I2C\_SR[I2CSTA] = 1, 发送 START 和地址。收到 ACK 信号, 说明 EEPROM 匹配成功, 可进行下一步操作; 收到 NACK 信号, 说明与 EEPROM 匹配失败, 此时 EEPROM 可能处于离线或忙状态。
8. 配置 I2C\_DR, 发送字节地址。该地址为后续写动作的起始地址, 同时确定可写入的页地址。
9. 写入字节内容, 最多可发送 16 次数据。超过 16 次后 EEPROM 不再响应。所写的数据内容只存在字节地址确定的对应页中。例如: 字节地址写 0x01, 发送 16 组数据后, 最后一个字节数据将存于字节地址 0x00 而非 0x11。
10. 停止通讯: 主机发送 STOP 信号, 停止通讯。此时 EEPROM 也会进入忙状态, 在 5ms 内不响应任何通信内容。

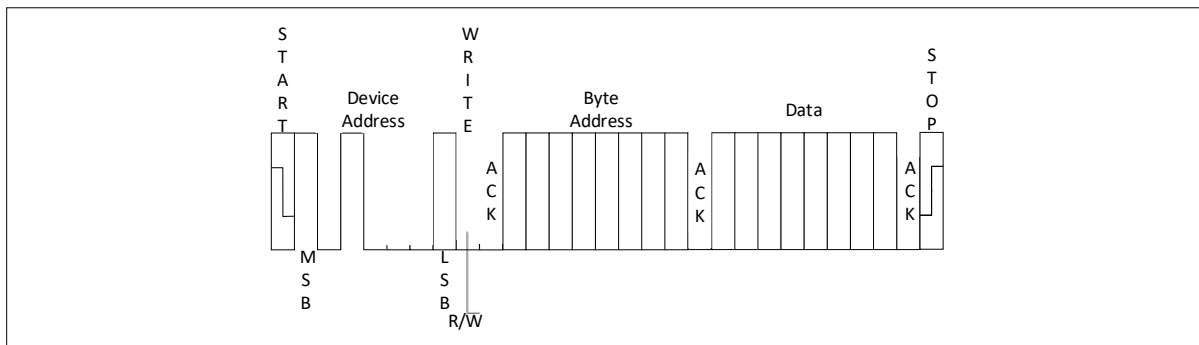


图 33-5 字节写

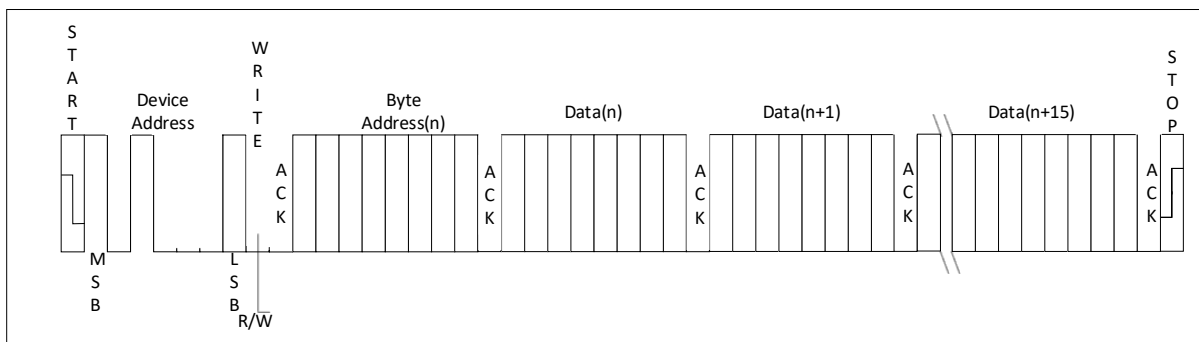


图 33-6 页写入

### 33.4 EEPROM 寄存器

#### 33.4.1 I2C\_CR (0x4028)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	I2CEN	I2CMS	EROMVDD5 PD	I2CDMANA KINT	I2CDMAAU TO	I2CSPD		I2CIE
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7]	I2CEN	I <sup>2</sup> C 使能 使能相应 GPIO 切换为 I <sup>2</sup> C 模式，集电极开漏输出。I <sup>2</sup> 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]	EROMVDD 5PD	EEPROM 5V 单独掉电使能 0: EEPROM 5V 供电 1: EEPROM 单独掉电
[4]	I2CDMAN AKINT	DMA 传输时忽略 NAK 应答引起的传输中断使能 0: 不使能 1: 使能

[3]	I2CDMAA UTO	DMA 传输时自动发送第一个数据字节使能 0: 不使能 1: 使能
[2:1]	I2CSPD	I <sup>2</sup> C 传输速率配置, 仅在主机模式下有效 00: 100kHz 01: 400kHz 10: 1MHz 11: 保留
[0]	I2CIE	I <sup>2</sup> C 中断使能 0: 不使能 1: 使能  注: I <sup>2</sup> C 中断标志位见 INT_SR5 (0xF7)

注: 寄存器 I2C\_ID 参见 9.3.2, I2C\_DR 参见 9.3.3。

### 33.4.2 PH\_SEL2 (0x4049)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV						I2C_FS	RSV
类型	-	-	-	-	-	-	R/W	-
复位值	-	-	-	-	-	-	0	-
位	名称	描述						
[7:2]	RSV	保留						
[1]	I2C_FS	I <sup>2</sup> C 功能转移访问 EEPROM 使能 0: 不使能 1: 使能						
[0]	RSV	保留						

## 34 Flash

### 34.1 Flash 简介

芯片片内提供 32k 字节的 Flash 空间。支持页擦除、页预编程、写入。

主要特性:

- 每个扇区为 256 字节，共计 128 个扇区
- 每页包含 8 个扇区，共计 16 页
- 最后一个扇区(地址范围: 0x7F00 ~ 0x7FFF)任何时刻不能被擦除
- 页擦除时间约 120ms ~ 150ms
- 配置 FLA\_CR[FLAEN] = 1 编程使能，MOVX 指令启动页预编程、页擦除或写入等 Flash 操作

### 34.2 Flash 操作说明

- Flash 在执行擦除和编程操作之前先解锁 Flash，向 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。
- 程序执行过程中如果对 Flash 进行改写操作，CRC 也会随之改变。
- 页擦除之前需进行页预编程操作。
- 配置 FLA\_CR = 0x23 使能页擦除操作、FLA\_CR = 0x25 使能页预编程操作、FLA\_CR = 0x21 使能写入操作。

注: 为确保对 Flash 操作的安全性，在自烧录前禁止所有中断事件，避免中断处理中的 MOVX 指令对 Flash 进行误操作。

### 34.3 Flash 寄存器

#### 34.3.1 FLA\_CR (0x85)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	CHIP_EN	PAGE_EN	FLAERR	RSV	FLAPRE	FLAERS	FLAEN
类型	-	R/W	R/W	R	-	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	-	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6]	CHIP_EN	全片操作使能 0: 不使能 1: 使能						

[5]	PAGE_EN	页操作使能 0: 不使能 1: 使能
[4]	FLAERR	编程出错标志位 0: 对 Flash 自写时, 编程或预编程操作成功 1: 对 Flash 自写时, 编程或预编程操作失败
[3]	RSV	保留
[2]	FLAPRE	预编程使能 0: 不使能 1: 使能  注: 只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAPRE]才起作用
[1]	FLAERS	擦除使能 0: 不使能 1: 使能  注: 只有在 FLA_CR[FLAEN] = 1 时, FLA_CR[FLAERS]才起作用
[0]	FLAEN	编程使能 0: 不使能 1: 使能

### 34.3.2 FLA\_KEY (0x84)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	FLA_KEY							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0

位	名称	描述
[7:0]	FLA_KEY	写: 按顺序写入 0x5A, 0x1F 以解除 Flash 操作限制; 往 FLA_CR 写任意值以限制 Flash 操作

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV						FLAKSTA	
类型	-	-	-	-	-	-	R	R
复位值	-	-	-	-	-	-	0	0

位	名称	描述
[7:2]	RSV	保留
[1:0]	FLAKSTA	读: 反映的是 Flash 解锁状态 00: 上锁 01: 0x5A 已经写入, 等待 0x1F 写入 10: 冻结 11: 开锁

## 35 CRC

### 35.1 CRC 功能框图

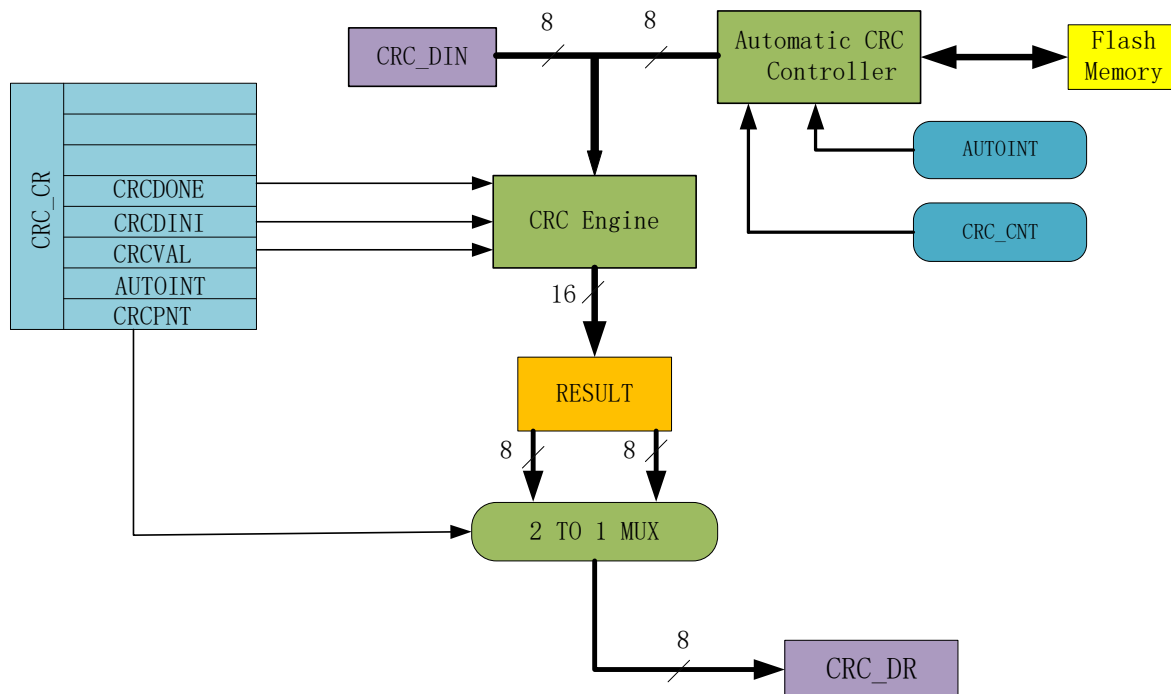


图 35-1 CRC 功能框图

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 35-1 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\_CR[CRCPNT] 和 CRC\_DR 间接访问内部结果寄存器。

### 35.2 CRC16 多项式

芯片基于 CRC16-CCITT-FALSE 标准的多项式。

表 35-1 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

### 35.3 CRC16 基本逻辑图

串行 CRC16 的电路原理如图 35-2 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。

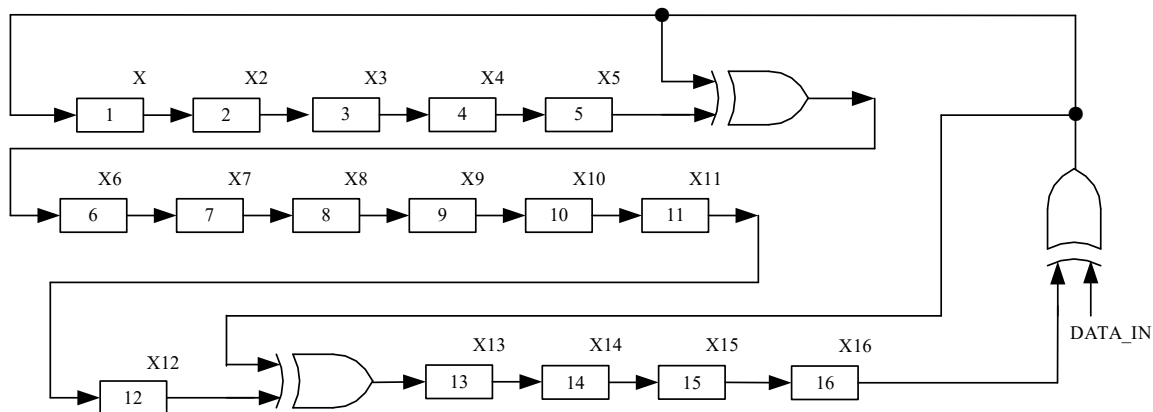


图 35-2 CRC16 电路原理图

## 35.4 CRC 操作说明

### 35.4.1 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。通过 CRC\_CR[CRCPNT]和 CRC\_DR 配合进行 CRC 初始操作，可配置任意初始值；
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：配置 CRC\_CR[CRCPNT] = 1，软件读取结果输出寄存器 CRC\_DR，得到高字节数据；配置 CRC\_CR[CRCPNT] = 0，读 CRC\_DR 得到低字节数据。

### 35.4.2 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. 读取 CRC 结果。

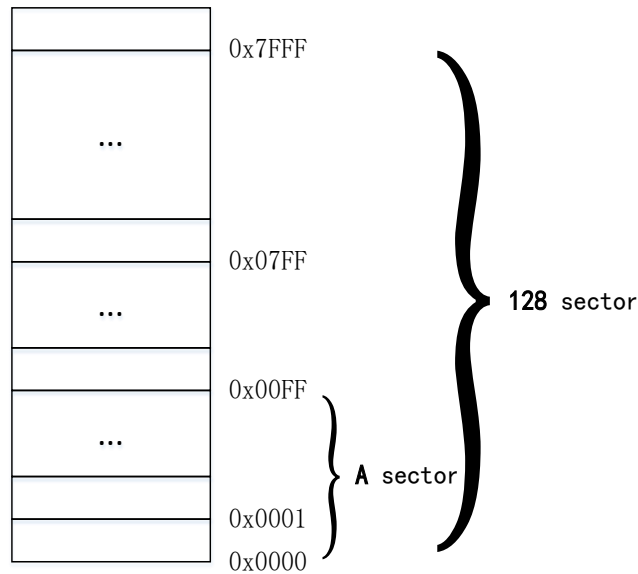


图 35-3 ROM 访问分区图

如图 35-3 所示 ROM 共有 32k 字节，分成 128 个 sector，编号从 sector0 到 sector127。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 0x00 ~ 0x7F 之间的任何值，包括 0x00 和 0x7F。需要计算的 sector 总数的数值 CRC\_CNT 可以是 0x00 ~ 0x7F，包括 0x00 和 0x7F。

需要注意的是，随着 CRC\_BEG 的增大，CRC\_CNT 应该相应减小。例：如 CRC\_BEG 的值为 0x7F，则 CRC\_CNT 的值只能是 0x00，即计算最后一个 sector 中数据的 CRC 值。此时，如误操作将 CRC\_CNT 的值设置为一个大的值，CRC 控制器会硬件自动限制计算的字节数，使 CRC 模块只计算最后一个 sector 的 CRC 值。

## 35.5 CRC 寄存器

### 35.5.1 CRC\_CR (0x4022)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV			CRCDONE	CRCDINI	CRCVAL	AUTOINT	CRCPNT
类型	-	-	-	R	W1	R/W	W1	R/W
复位值	-	-	-	1	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:5]	RSV	保留						
[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]	CRCPNT	CRC 结果指针 0: 读取 CRC_DR 访问的是 16 位 CRC 结果的低 8 位 1: 读取 CRC_DR 访问的是 16 位 CRC 结果的高 8 位

注: 计算单个字节 CRC 校验时, 配置 CRC\_CR[AUTOINT] = 0。

### 35.5.2 CRC\_DIN (0x4021)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CRC_DIN							
类型	W	W	W	W	W	W	W	W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	CRC_DIN	CRC 模块输入数据 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。  注: 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						

### 35.5.3 CRC\_DR (0x4023)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	CRC_DR							
类型	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7:0]	CRC_DR	CRC 结果输出 每次读、写此寄存器时, 会根据控制寄存器 CRC_CR[CRCPNT]来决定访问的是 CRC 结果的高 8 位还是低 8 位。						

### 35.5.4 CRC\_BEG (0x4024)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	CRC_BEG						
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6:0]	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。						

**35.5.5 CRC\_CNT (0x4025)**

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV	CRC_CNT						
类型	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
复位值	-	0	0	0	0	0	0	0
位	名称	描述						
[7]	RSV	保留						
[6:0]	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。						

## 36 休眠模式

### 36.1 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。

各种功耗模式下的模块工作情况总结如表 36-1 所示:

表 36-1 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 <sup>[1]</sup>	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, IO 模式下 P1.7/P1.1 <sup>[2]</sup> 电平变化, 外部 Reset/Debug 复位	功耗很低, 性能灵活

注:

[1] 进入睡眠模式后建议插入 3 条空语句。

```
PCON = 0x02;
```

```
_nop_();
```

```
_nop_();
```

```
_nop_();
```

[2] P1.1 仅支持通过高压模式唤醒睡眠, 此时需配置 P1\_PU[P11HV\_EN] = 1。

## 36.2 休眠模式寄存器

### 36.2.1 PCON(0x87)

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	RSV		GF3	GF2	GF1	RSV	STOP	IDLE
类型	-	-	R/W	R/W	R/W	-	R/W	R/W
复位值	-	-	0	0	0	-	0	0
位	名称	描述						
[7:6]	RSV	保留						
[5]	GF3	通用标志位 3						
[4]	GF2	通用标志位 2						
[3]	GF1	通用标志位 1						
[2]	RSV	保留						
[1]	STOP	写 1 使芯片进入睡眠模式，唤醒后由硬件自动清 0						
[0]	IDLE	写 1 使芯片进入待机模式，唤醒后由硬件自动清 0						

功耗模式 PCON[STOP:IDLE]:

00: 正常

01: 待机

1X: 睡眠

## 37 代码保护

### 37.1 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。

### 37.2 代码保护操作说明

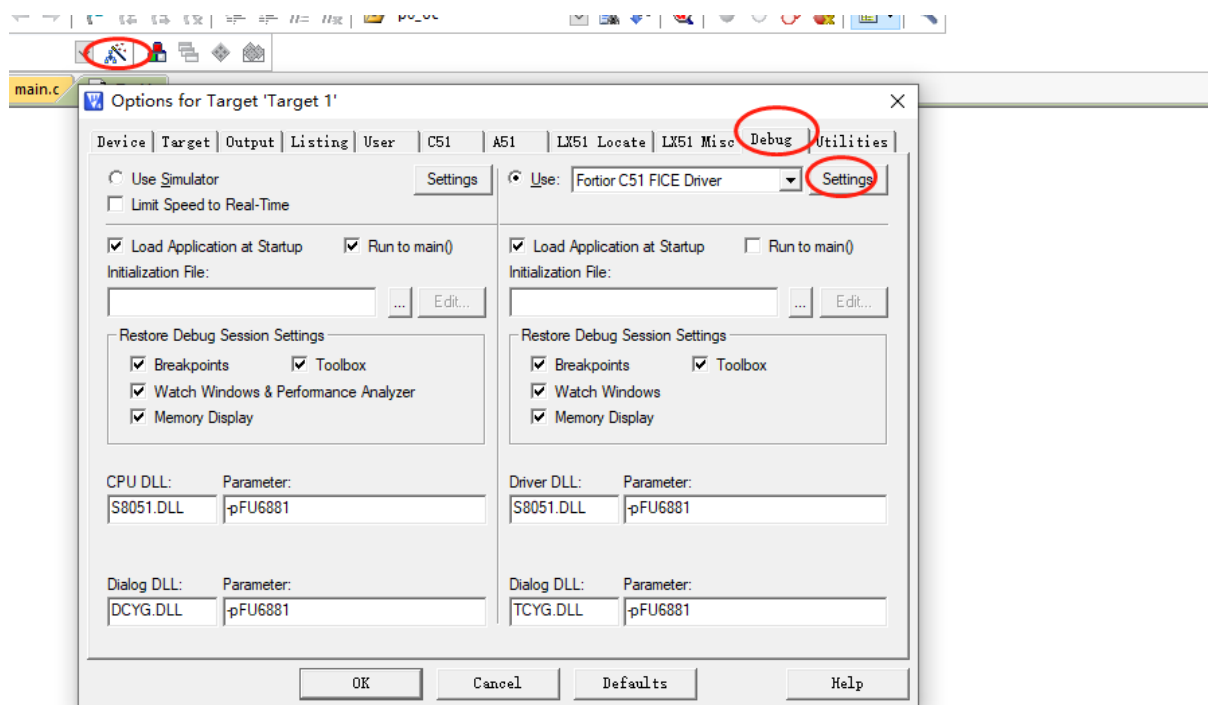


图 37-1 代码保护配置

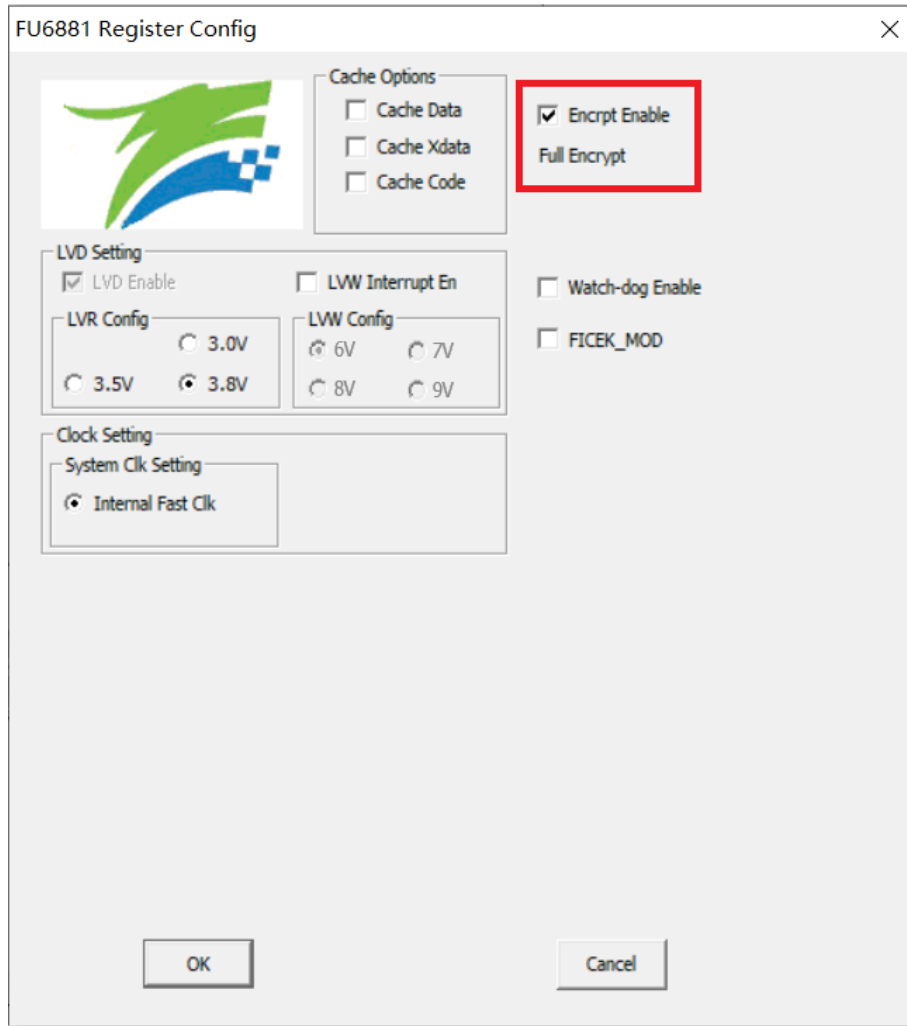


图 37-2 代码保护全保护模式

加密步骤为:

1. 打开 8051 集成开发工具，编译前进入 Target Options 中并选择 Debug 选项卡，按照上图 37-1 所示进行选择，并点击 Settings 进入下一步设置；
2. 按照图 37-2 所示进行选择并设置，点击 OK。然后编译工程并下载，得到 BIN 文件并烧录到 Flash 后即可达到代码保护的效果。

**38 修改记录**

版本	主要修改内容	生效日期	修订者
V0.1	初版	2023/04/20	崔俞强/ 朱兵华
V0.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>增加第 5 至 35 章；</li> <li>全文统一 I2C 为 I<sup>2</sup>C；</li> <li>英文缩写及说明增加 EEPROM；</li> <li>1.1 特性、2.1 引脚列表、4 订购信息修改外部电源电压 6 ~ 18V 为 6.5V ~ 20V；</li> <li>更新 1.4.1 FU6881Q1 功能框图；</li> <li>引脚定义列表、功能框图、引脚图 P0.7 增加 CX0；</li> <li>引脚定义列表更新 35 号引脚 GND IO 类型为 P, NC 的描述悬空统一为 NC, 更新 P0.1 RXD、P0.3 RXDS、P1.2 TXDS2 IO 类型、描述；</li> <li>更新 3 封装尺寸信息。</li> </ol>	2023/07/18	崔俞强/ 施扬喜/ 朱兵华
V0.3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 特性删除 Vds 保护；</li> <li>图 1-1 FU6881Q1 功能框图增加 LIN_VCC 引脚；</li> <li>更新表 2-1 FU6881Q1 QFN40 脚定义；</li> <li>更新图 2-1 FU6881Q1 QFN40 引脚图；</li> <li>更新图 3 1 QFN40_5X5 封装尺寸图；</li> <li>6.5.1 IE (0xA8) [1]RSV 改为 TSDIE, 描述保留改为 TSD 中断使能 0: 不使能 1: 使能；</li> <li>13.2.39 FOC_DMAX (0x4078) 修改取值范围[-256, 255]为取值范围[-128, 127]；</li> <li>15.1.4 Timer1 中断“Timer1 有 6 个中断请求源……”纠正为“Timer1 有 7 个中断请求源……”；</li> <li>28.2.8 HALL_CR (0xE2) [6]“注: I2C 中断标志位……”改为“HALL 中断事件标志位……”；</li> <li>29.1 过压保护“……OVP 配置 OVCP_CR[OVDPIS] = 0, 使能过流保护功能……”改为“……。配置 OVCP_CR[OVDPIS] = 0, 使能过压保护功能……”；</li> <li>33.5.4 CRC_BEG (0x4024) [6:0]描述 1*128 = 128 改为 1*256 = 256；</li> <li>文档优化。</li> </ol>	2023/08/09	崔俞强/ 施扬喜/ 朱兵华
V0.4	<ol style="list-style-type: none"> <li>新增 5 电气特性章节；</li> <li>EEPROM 空间大小改为 2k bits；</li> <li>比较器 4 路改为 2 路；</li> <li>23.2 IO 配置说明增加上、下拉电阻阻值请参考 5.3 GPIO 电气特性；</li> <li>25.1 ADC 简介增加采样时间范围和转换时间请参考 ADC 电气特性；</li> <li>28.2.2 AMP_CR1 (0x4034) [2]增加 RSV, 类型、复位值改为-；</li> <li>29.1.1.1 母线过流保护删除第二段中关于 EVT_FILT[INTO_MOE_EN]的配置描述；</li> <li>更新 29.2.3 CMP_CR2 (0xDA)。</li> </ol>	2023/08/15	郑然/ 朱兵华
V1.0	<ol style="list-style-type: none"> <li>删除 FG 中断；</li> <li>全文修改 DRV_CR(0x4062)为 DRV_CR0(0x4062)；</li> <li>更新 1.4.1 FU6881Q1 功能框图, TSD 从连接 Protection 移动至总线；</li> </ol>	2023/11/16	朱兵华

版本	主要修改内容	生效日期	修订者
	4. 5.1 绝对最大额定值增加 VCC 相对 VSS 电压, 在芯片运行, 关闭 U/V/W 输出的条件下, 最小最大值范围: -0.3 ~ 28V。 5. 5.2 全局电气特性增加睡眠电流参数; 6. 5.6 运算放大器电气特性增加注释; 7. 表 7 1 中断说明中断使能位列纠正 DMA0_CR0[0] 为 DMA0_CR1[0]; 8. 12 LIN 增加波特率自适应比例范围描述; 9. 14.2.1 FOC_CR0 (0x409F) 修改 [6]、[3]、[2] RSV 类型和复位值; 10. 15.1.3 角度模式修改 “……目标转速写入 FOC_EFREQMIN 和 FOC_EFREQACC 中……” 为 “……目标转速写入 FOC_EFREQMIN 和 FOC_EFREQHOLD 中……”; 11. 增加 20.2.1 DRV_DTR(0x4060) 小节; 12. 20.2.3 DRV_CR1 (0x4061) [1:0] 位描述 “FG 中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)” 改为 “DRV 比较匹配中断标志位见 INT_SR2 (0xF4)”; 13. 23.3.3 P1_AN (0x4050) 修改第 [7] 位名称 P1_AN 为 RSV; 14. 28.1 电流采样说明 “……使能 AMP4EN 启动 W 相电流采样……” 纠正为 “……使能 AMP4EN 启动母线电流采样……”; 15. 32.3.1 读模式修改第 5 步操作 “配置 I2C_SR[DMOD] = 1, 设置写方向” 改为 “配置 I2C_SR[DMOD] = 0, 设置写方向”, 第 9 步操作 “配置 I2C_SR[DMOD] = 0” 改为 “配置 I2C_SR[DMOD] = 1”; 16. 32.3.2 写模式修改第 5 步操作 “配置 I2C_SR[DMOD] = 1, 设置写方向” 改为 “配置 I2C_SR[DMOD] = 0, 设置写方向”; 17. 文档转为正式版本, 删除封面、页脚、版权声明中的临时版相关描述。		
V1.1	1. 1.5.4 XSFR 增加步进控制器寄存器 ST_VABK、ST_BPCOMP、ST_DZCOMP、ST_ETHERA、ST_OMEEST; 2. 14.1.8.1.2 估算器强制角度删除 FOC_CR1[ANGM] = 1; 3. 14 FOC 电流电压采样 ADC 通道 2 增加母线电压的分压比为 1/10, 电流采样电阻为 0.1Ω; 4. 20.2.3 DRV_CR1 (0x4061) 更新 [5:4] 名称 CPCSSEL 为 RSV; 5. 图 25-2 ADC 功能框图删除 ADCRATIO; 6. 32.2 主要特性修改 EEPROM 大小为 2k bits (256x8bits); 7. 优化文档。	2024/03/14	朱兵华
V1.2	1. 更新 4 订购信息中 MIPS(Peak) 为 MHz; 2. 5.1 绝对最大额定值 VCC 相对 VSS 的电压增加条件 U/V/W 正常输出; 3. 纠正 6.4 低电压保护复位说明中 “VDD” 为 “VCC”; 4. 12 LIN 增加符合 ISO 17987 规范, 更新 “位错误” 为 “位错误/格式错误”; 5. 29 比较器更新 CMP3 工作模式; 6. 表 34 1 CRC 标准与多项式删除不适用的标准; 7. 标准化部分寄存器名称与位的表述, 优化部分框图。	2024/06/06	朱兵华
V1.3	1. 1.1 特性增加 AEC-Q100 声明; 2. 2.1 FU6881Q1 QFN40 引脚列表 P0.2、P1.0、P1.1 增加集电极开漏说明; 3. 区分 ADC 转换时间与采样时间; 4. 更新 LIN 符合性声明并增加 5.10 LIN 电气特性; 5. 8.1.1 CK_CR 增加 T4CKEN 描述;	2024/08/16	朱兵华

版本	主要修改内容	生效日期	修订者
	6. 纠正 TIM1_KFMAX 为 TIM1_KRMAX; 7. 16.3.6 TIM1_IER (0x406D)更新 T1UPD 类型 W 为 W1; 8. 17 Timer 2 章图 17-1 输出模式原理框图、图 17-5 输入捕获模式原理框图删除寄存器 T2OPM; 9. 标准化 14 FOC 章 FOC_ETHETA、Timer1 章 TIM1_KR、TIM1_KF、Timer2 章 TIM2_DR、TIM2_CNTR、TIM2_ARR 寄存器的写法; 10. 23.3.5 P1_PU (0x4054)更新[1]描述; 11. 27.2.1 VREF_CR[VREFEN]描述更新引脚外接电容值为 1 $\mu$ F ~ 4.7 $\mu$ F; 12. 更新 31、36 章截图中低电压预警四个档位电压值为 6/7/8/9V; 13. 优化文档结构与内容。		
V1.4	1. 1.1 特性中“驱动电流”参数名改为“驱动平均电流”; 2. 更新图 1-2 Memory 空间分配; 3. 1.5.1 Program Memory 中“0x0000 ~ 0x00FF”改为“0x0000 ~ 0x0082”; 4. 1.5.4 XSFR 中 FOC_UDCPSH 和 FOC_UDCPSL 分别改为 FOC_UDQCPSH 和 FOC_UDQCPSL、VREF_VHALF_CR 改为 VREF_CR; 5. 功能框图、引脚图中 PO.7 删除 CX0; 引脚定义列表、引脚图中增加 PO.4 增加 OLDBG; 6. 5.2 全局电气特性增加“相线硬件过流值”参数; 7. 7.5.1 IE (0xA8)中[5]MCDIE 改为 RSV; 8. 7.5.8 EXT1_IF (0xD2)中[0] ~ [7]位类型 R/W 改为 R/W0; 9. 7.5.10 INT_SR1(0xF3)中[5]T3IR 和[4]T3IP 位名称分别改为[5]T4IR 和[4]T4IP; 增加[3]T4IF 及其相关描述; [0]T3IF 功能描述“TIMx_CNTR”和“TIMx_ARR”分别改为“TIM3_CNTR”和“TIM3_ARR”; 10. 7.5.11 INT_SR2 (0xF4)中增加[4]FGIF 及其相关描述; 11. 更新图 10-2 3 线 SPI 模式连接图、图 10-3 4 线多主机模式连接图、图 10-4 4 线单主机模式连接图、图 10-5 数据/时钟时序图 (SPI_CRO[CPHA] = 0)、图 10-6 数据/时钟时序图 (SPI_CRO[CPHA] = 1); 12. 10.3.3 SPI_CLK (0x4032)增加 SPI 主机和从机发送/接收的上限波特率值; 13. 11.3.1 UT_CR (0x98)中[7:6]MOD 位名称改为 UT_MOD; 14. 寄存器 INT_SR6[LINWAKUP]改为 INT_SR6[LINWAKEUP]; INT_SR6[CLRERR]改为 INT_SR6[LINERR]; MDU_CR[MDUBUSY]改为 MDU_CR[MDUBSY]; 15. 13.4.1 MDU_CR (0xC1)中[6:3]MDUSTA 位类型 R/W 改为 R/W1; 16. 13.4.3 MULO_MB (0x0FA2, 0x0FA3)中 MDU_MB[15:8]和 MDU_MB[7:0]分别改为 MULO_MB[15:8]和 MULO_MB[7:0]; 17. 13.4.13 MUL3_MC (0x0F3C, 0x0F9D, 0x0F3E, 0x0F3F)改为 MUL3_MC (0x0F3C, 0x0F3D, 0x0F3E, 0x0F3F); 18. 13.4.17 DIV0_DR (0x0F96, 0x0F97)增加 DIV0_DR 功能描述; 19. 13.4.84 PI2_UKMAX (0x0F68, 0x0F69)中 PI2_MAX[7:0]改为 PI2_UKMAX[7:0]; 20. 13.4.85 PI2_UKMIN (0x0F6A, 0x0F6B)中 PI2_MIN[15:8]改为 PI2_UKMIN[15:8]; 21. 更新图 14-1 FOC 原理框图; 22. 寄存器 FOC_CR1[EFAM]改为 FOC_CR3[EFAM];	2025/04/21	邓书芝

版本	主要修改内容	生效日期	修订者
	23. 删除 14.1.4.2 Clarke 逆变换章节； 24. 14.2.2 FOC_CR1 (0x40A0)中[7]STEP_EN 位名称改为 STEPEN； [5]VAB_SEL 位名称改为 VABSEL； 25. 14.2.3 FOC_CR2 (0x40A1)中[6]ICLR 位类型 R/W1 改为 W1； 26. 14.2.5 FOC_CR4 (0x409D) 中 [6]DETH_EN 位 名 称 改 为 DEL_MAN_EN；[3:2]KSLIDE_SEL 位名称改为 KSLIDE；[0]BLO_MD 位名称改为 SAM_MD； 27. 14.2.26 FOC_THETA (0x40CC, 0x40CD)中[15] ~ [0]位类型 R/W 改为 R； 28. 15.2.2 ST_VABK (0x40D8)中 STEP_EN 改为 FOC_CR1[STEPEN]； 29. 更新图 16-11 方波的六步换相图、图 16-12 BLDC 的工作原理； 30. 16.3.1 TIM1_CR0 (0x4068) 中 补 全 T1TIS 寄 存 器 名 称 为 TIM1_CR3[T1TIS]； 31. 16.3.6 TIM1_IER (0x406D)中[3]T1RUIE 改为 T1ROIE； 32. 16.3.8 TIM1_CR5 (0x4072)中[7]T1POP 位名称改为 T1ABDIE， 类型 R 改为 R/W；[6]T1WTS 的类型 R 改为 R/W，功能描述删除 “PWM OFF 时候换相使能，消除窄脉冲”； 33. 寄存器 TIM2_DR 改为 TIM2_DR； 34. 17.2.2 TIM2_CR1 (0xA9)中[5]T2SS 改为 T2TSS； 35. 优化 19.1 Systick 操作说明章节和 20.1.2.2 输出使能与极性 章节的内容描述； 36. 20.2.3 DRV_CR1 (0x4061)中增加[3]FGIE 和[5:4]CPCKSEL 及其 功能描述； 37. 21.3.3 CCFG1 (0x401E)中[6]LVWIE 位名称改为 LVW_IE； 38. 22.4.2.1 CAL_CR0 (0x4044) / CAL_CR1 (0x4045)改为 CAL_CR (0x4044, 0x4045)； 39. 更新图 25-3 ADC 顺序采样时序图； 40. 25.4.1 ADC_CR (0x4039)中新增[4:3]ADCTM 及其功能描述； 41. 25.4.15 ADC10_DR (0x0FEC, 0x0FED)中 ADC10_DRH(0x0FC)改为 ADC10_DRH(0x0FEC)； 42. 更新图 26-1 DMA 功能框图； 43. 26.2.2 DMA1_CR0 (0x403B)中[0]DMAOIE 位名称改为 DMA1IE； 44. 寄存器 VREF_CR[VREFVSEL]改为 VREF_CR[VRVSEL]； 45. 27.1 VREF 模块的操作说明中删除描述“且 P1_OE[6] = 1”； 46. 28.1 电流采样说明中补全 AMPxEN 和 CALOE 寄存器名称为 AMP_CR0[AMPxEN]、AMP_CR0[CALOE]； 47. 28.2.2 AMP_CR1 (0x4034) 中 [7:5]IBUS_GAIN 改 为 [7:6] IBUS_GAIN；[5]改为 RSV、增加[4:3]AMP4_ISCALE 位的类型和 复位值； 48. 优化 29.1.2 比较器组 CMPG 文档结构，增加“29.1.2.1 有内置 电阻三比较器模式”和“29.1.2.2 双比较器模式”四级标题； 49. 29.1.4 比较器输出中“...可选择输出功能转移至 P3.4”改为 “...可选择输出功能转移至 P0.7”； 50. 29.2.4 CMP_CR3 (0xDC)中[2:0]CMPSEL 的描述“选择一路比较 器输出信号到端口 P0.1，可输出转移至 P3.4”改为“选择一路 比较器输出信号到端口 P0.1，可输出转移至 P0.7”； 51. 33.3.1 FLA_CR (0x85)中增加[6]CHIP_EN 及其功能描述、 [5]FLAPAGE 改为 PAGE_EN。		
V1.5	1. 删除 CX0 相关描述； 2. 更新图 1-1 FU6881Q1 功能框图，增加 LIN 模块和 RTC 模块；	2025/08/05	邓书芝

版本	主要修改内容	生效日期	修订者
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 5.2 全局电气特性中删除备注 “[2]Flash 写入或擦除时 VDD5 必须保持在 5V ~ 5.5V”；</li> <li>4. 5.5 参考电压电气特性中增加 VREF 的最大值、最小值；</li> <li>5. 5.9 LDO 电气特性中 VDD5 电压的最小值 4.7V 改为 4.8V、最大值 5.3V 改为 5.2V；</li> <li>6. 7.5.6 TCON (0x88) 中[4:3]IT1 的[3]位类型和复位值分别改为“R/W”和“0”；[2]RSV 位类型和复位值改为“-”；</li> <li>7. 10.3.3 SPI_CLK (0x4032)中删除“注：MDU PI/PID 与从机 SPI 同时使用时(使用 DMA 传输)，主机 SPI 波特率配置应小于 2MHz，否则从机 SPI 传输的数据可能错漏。”；</li> <li>8. 修改 11.3.3 UT_BAUD (0x9A, 0x9B)中的波特率公式；</li> <li>9. 12.8.6 LIN_BAUD (0xBF, 0xBE)波特率公式中的 SYSCLK 改为 LINCLK；</li> <li>10. 14.1.7.3 电流采样偏置中 FOC_CHC[CSOC]改为 FOC_CR2[CSOC]；</li> <li>11. 更新图 16-5 位置检测功能框图和图 16-9 写入时序框图；</li> <li>12. 20.2.6 DRV_ARR (0x405E, 0x405F) 和 20.2.8 DRV_DR (0x4058, 0x4059)中备注增加说明“40MHz 为系统时钟频率的两倍”；</li> <li>13. 增加“时钟”章节，并将“RTC”章节中关于“时钟校准”的内容移至该章节；</li> <li>14. 优化 21.2 时钟校准简介的内容描述；</li> <li>15. 30.2.3 CMP_CR2 (0xDA) 中 [0]CMPOEN “CMPO 使能” 改为 “CMPO/1/2 使能”；</li> <li>16. 36.1 休眠模式简介中唤醒源增加“IO 模式下 P1.1 电平变化”及其备注说明。</li> </ol>		

## 版权说明

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。

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  
邮编：518057  
电话：0755-26867710  
传真：0755-26867715  
网址：[www.fortiortech.com](http://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。