英飞凌中程+系统基础芯片

特性



- 停止模式和休眠模式下静态电流损耗极低
- *系统基础芯片 (SBC)* 在正常模式和停止模式下的周期性循环唤醒
- 在 SBC 的正常模式、停止模式和休眠模式下的周期性循环检测
- 两个集成的低压差稳压器：主调节器具有5V和至多250 mA输出，辅调节器（5V和至多100mA输出）具有板外使用保护
- 外部 PNP 晶体管的稳压器（5 V 或 3.3 V 可选）可配置用于板外使用或负载共享
- 高速*控制器局域网络（CAN）*收发器：
  - 完全符合 HS-CAN 标准 ISO 11898-2:2016
  - 完全符合CAN PN标准，包括CAN FD 容错特性（根据ISO 11898-2:2016）
  - 支持CAN FD 通信，速度最高可达 5 Mbit/s
- 两个*局域互连网络（LIN）*收发器LIN 2.2/ISO 17987-4/SAE J2602，具有可配置 TxD 超时特点和LIN闪光模式
- 完全符合 "Hardware Requirements for LIN, CAN and FlexRay Interfaces in Automotive Applications" Revision 1.3, 2012-05-04
- 四个高边典型值7 Ω
- 高端输出专用电源引脚
- 两个通用高压输入和输出 (GPIO)，可配置为附加故障输出、唤醒输入、低边开关或高边开关
- 三个通用高压唤醒输入，用于电平监测
- 交替高压测量功能，例如用于电池电压检测
- 可配置的唤醒源
- 复位输出
- 最多三个故障输出（取决于配置）
- 集成故障安全和监控功能，例如故障安全、看门狗、中断输出
- 可配置的功能看门狗和窗口看门狗
- 过温保护和短路保护功能
- 16 位*串行外设接口（SPI）*用于配置和诊断
- PG-VQFN-48 无引脚裸露散热焊盘功率封装，带引脚尖端检查 (LTI) 功能，支持*自动光学检测(AOI)*
- 绿色产品（符合 RoHS 标准）

潜在应用

- 车身控制模块（BMC）
- 无钥匙项和启动模块
- 网关应用
- *供暖、通风和空调（HVAC）*
- 座椅、车顶、尾门、拖车、车门和其他闭合部件模块
- 照明控制模块
- 换档器和选择器

产品验证

汽车应用认证。产品验证符合 AEC-Q100 标准。

描述

OPTIREG™ SBC CLE9263-3BQX 是一款单片*SBC*，采用裸露的散热焊盘 VQFN-48 (7 mm × 7 mm) 功率封装并具有引脚尖端检查 (LTI) 功能，以支持*AOI*。

本数据手册的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

该器件专为各种*CAN-LIN*汽车应用而设计，可作为微控制器的主要电源，并作为LIN 和CAN 总线接口，支持CAN PN 功能。为了支持这些应用，该器件提供了多项主要功能，例如 5V*低压差稳压器(LDO)*（例如微控制器电源）；另一个带有板外保护的 5V 低压差稳压器（例如传感器电源）；另一个 5V/3.3V 调节器来驱动外部 PNP 晶体管，可以作为独立电源用于板外使用，或者与主调节器 VCC1 进行负载共享配置；HS-CAN收发器，支持CAN FD 和CAN PN（包括FD容错模式），以及用于数据传输的LIN 收发器。该器件还集成了带嵌入式保护功能的高边开关，以及用于器件控制与监测的 16 位*SPI*。器件还实现了可配置超时看门狗和/窗口看门狗，具有复位功能、三个故障输出和欠压复位功能。该器件提供低功耗模式，以最大程度地减少永久连接到电池的应用的电流损耗，可通过总线消息、双电平敏感监测/唤醒输入以及循环唤醒从低功耗模式唤醒。该器件设计用于承受汽车应用的恶劣条件。

Type	Package	Marking
CLE9263-3BQX	PG-VQFN-48	CLE9263-3BQX

目录

特性 1
潜在应用 1
产品验证 1
描述 1
目录 3
1 框图 10
2 引脚配置 11
2.1 引脚分配 1
2.2 引脚定义和功能 12
2.3 未使用引脚的提示 15
2.4 备用引脚功能提示 15
3 产品一般特性 16
3.1 绝对最大额定值 16
3.2 功能范围 18
3.3 热阻抗 19
3.4 电流消耗 20
4 系统功能 25
4.1 状态机的模块描述 26
4.1.1 器件配置和SBC初始化模式 27
4.1.1.1 器件配置 27
4.1.1.2 SBC 初始化模式 30
4.1.2 SBC 正常模式 31
4.1.3 SBC 停止模式 32
4.1.4 SBC 休眠模式 33
4.1.5 SBC 重启模式 34
4.1.6 SBC 故障安全模式 35
4.1.7 SBC 开发模式 36
4.2 唤醒特性 37
4.2.1 循环检测 37
4.2.1.1 循环检测的配置和操作 39
4.2.1.2 低功耗模式下的循环检测 42
4.2.2 循环唤醒 42
4.2.3 内部定时器 43
4.3 监督特性 44
5 CAN PN 45
5.1 CAN PN- 选择性唤醒功能 45
5.2 SBC PN 功能 46

Table of contents

5.2.1 SWK激活 47
5.2.2 唤醒模式（WUP） 48
5.2.3 唤醒帧（WUF） 50
5.2.4 CAN协议错误计数器 50
5.3 诊断标志 51
5.3.1 PWRON/RESET标志 51
5.3.2 BUSERR 标志 51
5.3.3 TXD 显性超时标志 51
5.3.4 WUP 标志 51
5.3.5 WUF 标志（WUF） 51
5.3.6 SYSERR 标志（SYSERR） 51
5.3.7 配置错误 51
5.3.8 CAN 总线超时标志（CANTO） 52
5.3.9 CAN 总线沉默标志（CANSIL） 52
5.3.10 SYNC 标志（SYNC） 52
5.3.11 SWK_SET 标志（SWK_SET） 52
5.4 选择性唤醒 (SWK) 的 SBC 模式 53
5.4.1 SBC 正常模式（带 SWK） 53
5.4.2 SBC 停止模式（带 SWK） 54
5.4.3 SBC 休眠模式（带 SWK） 55
5.4.4 SBC 重启模式（带 SWK） 56
5.4.5 SBC 故障安全模式（带 SWK） 57
5.5 唤醒 57
5.6 SWK 的配置 57
5.7 CAN FD 容错模式 59
5.8 时钟和数据恢复 60
5.8.1 为 SWK 配置时钟数据恢复功能 60
5.8.2 时钟设置和数据恢复 61
5.9 电气特性 62

6 稳压器 1 63
6.1 模块描述 63
6.2 功能描述 64
6.3 电气特性 65

7 稳压器 2 68
7.1 模块描述 68
7.2 功能描述 69
7.2.1 对电池短路保护 69
7.3 电气特性 70

8 外部稳压器 3 73
8.1 模块描述 73
8.2 功能描述 74

8.2.1 外部稳压器作为独立稳压器 ... 75
8.2.2 负载共享模式下的外部稳压器 ... 76
8.3 外部元器件 ... 77
8.4 R_{SHUNT}计算 ... 79
8.5 未使用的引脚 ... 79
8.6 电气特性 ... 80
9 高边开关 ... 85
9.1 模块描述 ... 85
9.2 功能描述 ... 85
9.2.1 过压和欠压关断 ... 86
9.2.2 过流检测及关断 ... 86
9.2.3 开路检测 ... 86
9.2.4 HSx 在不同 SBC 模式下的运行 ... 86
9.2.5 PWM 和定时器功能 ... 86
9.3 电气特性 ... 88
10 高速 CAN 收发器 ... 89
10.1 模块描述 ... 89
10.2 功能描述 ... 89
10.2.1 CAN 关闭模式 ... 91
10.2.2 CAN 正常模式 ... 91
10.2.3 CAN 仅接收模式 ... 92
10.2.4 CAN 可唤醒模式 ... 92
10.2.5 TXD 超时特点 ... 94
10.2.6 总线显性钳位 ... 95
10.2.7 欠压检测 ... 95
10.3 电气特性 ... 96
11 LIN 收发器 ... 103
11.1 模块描述 ... 103
11.1.1 LIN 规格 ... 103
11.2 功能描述 ... 104
11.2.1 LIN 关闭模式 ... 104
11.2.2 LIN 正常模式 ... 105
11.2.3 LIN 仅接收模式 ... 105
11.2.4 LIN 可唤醒模式 ... 105
11.2.5 TXD 超时特点 ... 106
11.2.6 总线显性钳位 ... 107
11.2.7 欠压检测 ... 107
11.2.8 斜率选择 ... 107
11.2.9 通过LIN进行 Flash 烧录 ... 107
11.3 电气特性 ... 109
12 唤醒和电压监测输入 ... 114

12.1 模块描述 ... 114
12.2 功能描述 ... 115
12.2.1 唤醒输入配置 ... 116
12.2.2 WK1 和 WK2 的交替测量功能 ... 118
12.2.2.1 模块描述 ... 118
12.2.2.2 功能描述 ... 118
12.3 电气特性 ... 119
13 中断功能 ... 121
13.1 模块和功能描述 ... 121
13.2 电气特性 ... 123
14 故障输出 ... 124
14.1 模块和功能描述 ... 124
14.1.1 FO2 和 FO3 的通用 I/O 功能作为替换功能 ... 125
14.2 电气特性 ... 127
15 监控功能 ... 129
15.1 复位功能 ... 129
15.1.1 复位输出描述 ... 129
15.1.2 软复位描述 ... 130
15.2 看门狗功能 ... 130
15.2.1 超时看门狗 ... 132
15.2.2 窗口看门狗 ... 133
15.2.3 看门狗设置校验 ... 134
15.2.4 SBC 停止模式下的看门狗 ... 135
15.2.5 由于总线唤醒，SBC 停止模式下的看门狗启动 ... 136
15.3 VS 上电复位 ... 137
15.4 Vs 和 VSHS 欠压 ... 138
15.5 VSHS 过压 ... 138
15.6 VCC1 过压/欠压和欠压预警 ... 138
15.6.1 VCC1 欠压和欠压预警 ... 138
15.6.2 VCC1 过压 ... 139
15.7 VCC1 短路和 VCC3 诊断 ... 140
15.8 VCC2 欠压和 VCAN 欠压 ... 140
15.9 热保护 ... 142
15.9.1 独立热关断 ... 142
15.9.2 温度预警 ... 143
15.9.3 SBC 热关断 ... 143
15.10 电气特性 ... 144
16 串行外设接口 ... 147
16.1 SPI 功能块描述 ... 147
16.2 SPI 数据输出中的故障信号 ... 148
16.3 SPI 编程 ... 150

16.4 SPI位映射 152
16.5 SPI控制寄存器 154
16.5.1 通用控制寄存器 156
16.5.1.1 寄存器 M_S_CTRL 156
16.5.1.2 寄存器 HW_CTRL 158
16.5.1.3 寄存器 WD_CTRL 160
16.5.1.4 寄存器 BUS_CTRL_1 161
16.5.1.5 寄存器 BUS_CTRL_2 163
16.5.1.6 寄存器 WK_CTRL_1 164
16.5.1.7 寄存器 WK_CTRL_2 165
16.5.1.8 寄存器 WK_PUPD_CTRL 166
16.5.1.9 寄存器 WK_FLT_CTRL 167
16.5.1.10 寄存器 TIMER1_CTRL 168
16.5.1.11 寄存器 TIMER2_CTRL 169
16.5.1.12 寄存器 SW_SD_CTRL 170
16.5.1.13 寄存器 HS_CTRL1 171
16.5.1.14 寄存器 HS_CTRL2 172
16.5.1.15 寄存器 GPIO_CTRL 173
16.5.1.16 寄存器 PWM1_CTRL 174
16.5.1.17 寄存器 PWM2_CTRL 175
16.5.1.18 寄存器 PWM_FREQ_CTRL 176
16.5.1.19 寄存器 SYS_STATUS_CTRL 177
16.5.2 选择性唤醒控制寄存器 178
16.5.2.1 寄存器 SWK_CTRL 178
16.5.2.2 寄存器 SWK_BTL1_CTRL 179
16.5.2.3 寄存器 SWK_BTL2_CTRL 180
16.5.2.4 寄存器 SWK_ID3_CTRL 181
16.5.2.5 寄存器 SWK_ID2_CTRL 182
16.5.2.6 寄存器 SWK_ID1_CTRL 183
16.5.2.7 寄存器 SWK_ID0_CTRL 184
16.5.2.8 寄存器 SWK_MASK_ID3_CTRL 185
16.5.2.9 寄存器 SWK_MASK_ID2_CTRL 186
16.5.2.10 寄存器 SWK_MASK_ID1_CTRL 187
16.5.2.11 寄存器 SWK_MASK_ID0_CTRL 188
16.5.2.12 寄存器 SWK_DLC_CTRL 189
16.5.2.13 寄存器 SWK_DATA7_CTRL 190
16.5.2.14 寄存器 SWK_DATA6_CTRL 191
16.5.2.15 寄存器 SWK_DATA5_CTRL 192
16.5.2.16 寄存器 SWK_DATA4_CTRL 193
16.5.2.17 寄存器 SWK_DATA3_CTRL 194
16.5.2.18 寄存器 SWK_DATA2_CTRL 195
16.5.2.19 寄存器 SWK_DATA1_CTRL 196

16.5.2.20 寄存器 SWK_DATA0_CTRL ... 197
16.5.2.21 寄存器 SWK_CAN_FD_CTRL ... 198
16.5.3 选择性唤醒微调与校准控制寄存器 ... 199
16.5.3.1 寄存器 SWK_OSC_TRIM_CTRL ... 199
16.5.3.2 寄存器 SWK_OPT_CTRL ... 200
16.5.3.3 寄存器 SWK_OSC_CAL_H_STAT ... 201
16.5.3.4 寄存器 SWK_OSC_CAL_L_STAT ... 202
16.5.3.5 寄存器 SWK_CDR_CTRL1 ... 203
16.5.3.6 寄存器 SWK_CDR_CTRL2 ... 204
16.5.3.7 寄存器 SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL ... 205
16.5.3.8 寄存器 SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL ... 206
16.6 SPI 状态信息寄存器 ... 207
16.6.1 通用状态寄存器 ... 208
16.6.1.1 寄存器 SUP_STAT_2 ... 208
16.6.1.2 寄存器 SUP_STAT_1 ... 209
16.6.1.3 寄存器 THERM_STAT ... 211
16.6.1.4 寄存器 DEV_STAT ... 212
16.6.1.5 寄存器 BUS_STAT_1 ... 213
16.6.1.6 寄存器 BUS_STAT_2 ... 215
16.6.1.7 寄存器 WK_STAT_1 ... 216
16.6.1.8 寄存器 WK_STAT_2 ... 217
16.6.1.9 寄存器 WK_LVL_STAT ... 218
16.6.1.10 寄存器 HS_OC_OT_STAT ... 219
16.6.1.11 寄存器 HS_OL_STAT ... 220
16.6.2 选择性唤醒状态寄存器 ... 221
16.6.2.1 寄存器 SWK_STAT ... 221
16.6.2.2 寄存器 SWK_ECNT_STAT ... 222
16.6.2.3 寄存器 SWK_CDR_STAT1 ... 223
16.6.2.4 寄存器 SWK_CDR_STAT2 ... 224
16.6.3 系列和产品信息寄存器 ... 225
16.6.3.1 寄存器 FAM_PROD_STAT ... 225
16.7 电气特性 ... 226
17 应用信息 ... 228
17.1 应用图 ... 228
17.2 ESD 测试 ... 235
17.3 封装的热行为 ... 236
18 封装信息 ... 238
词汇表 ... 239
修订记录 ... 242

免责声明.....243

1 框图

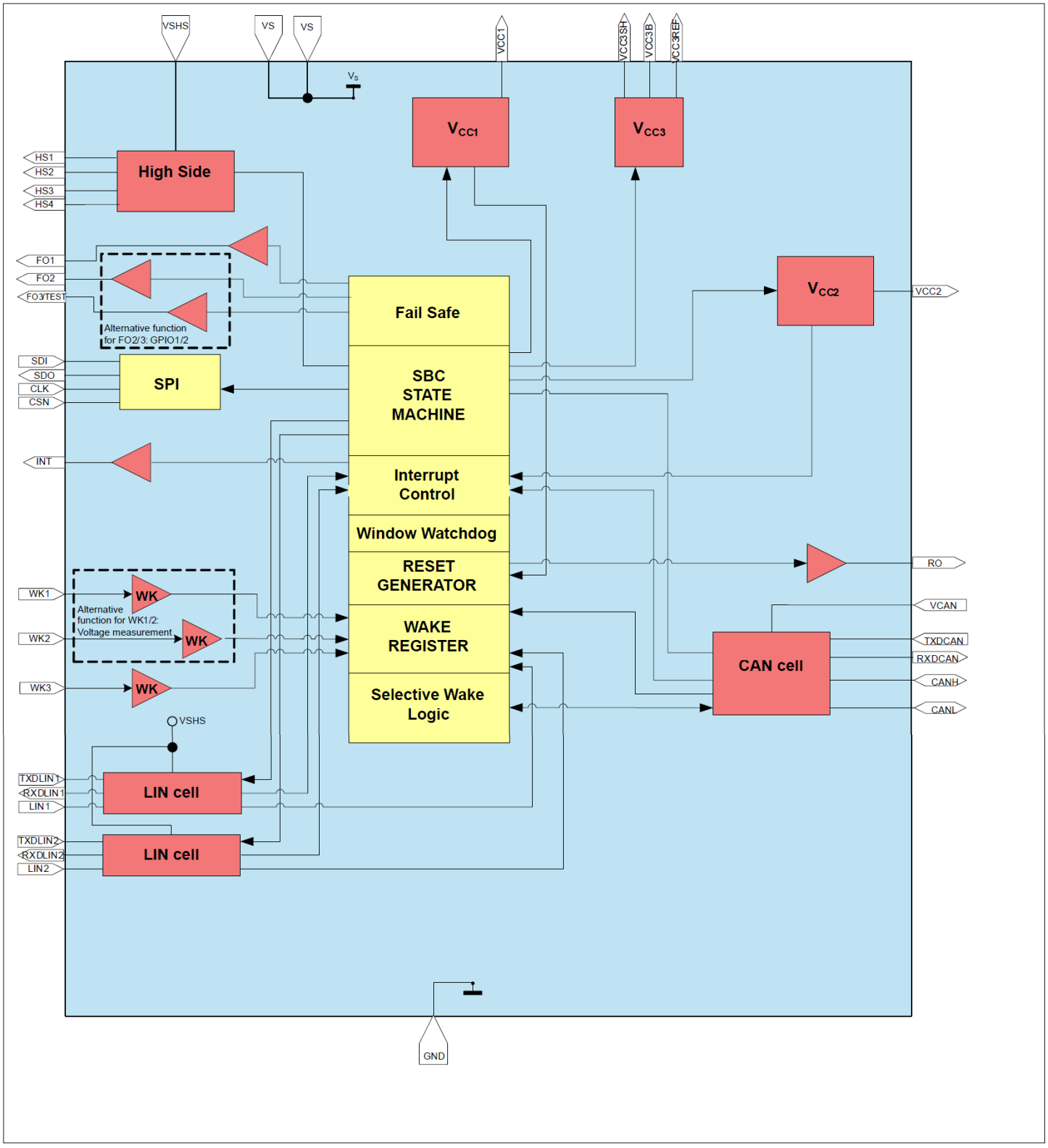


图 1 CAN PN框图

2 引脚配置

2.1 引脚分配

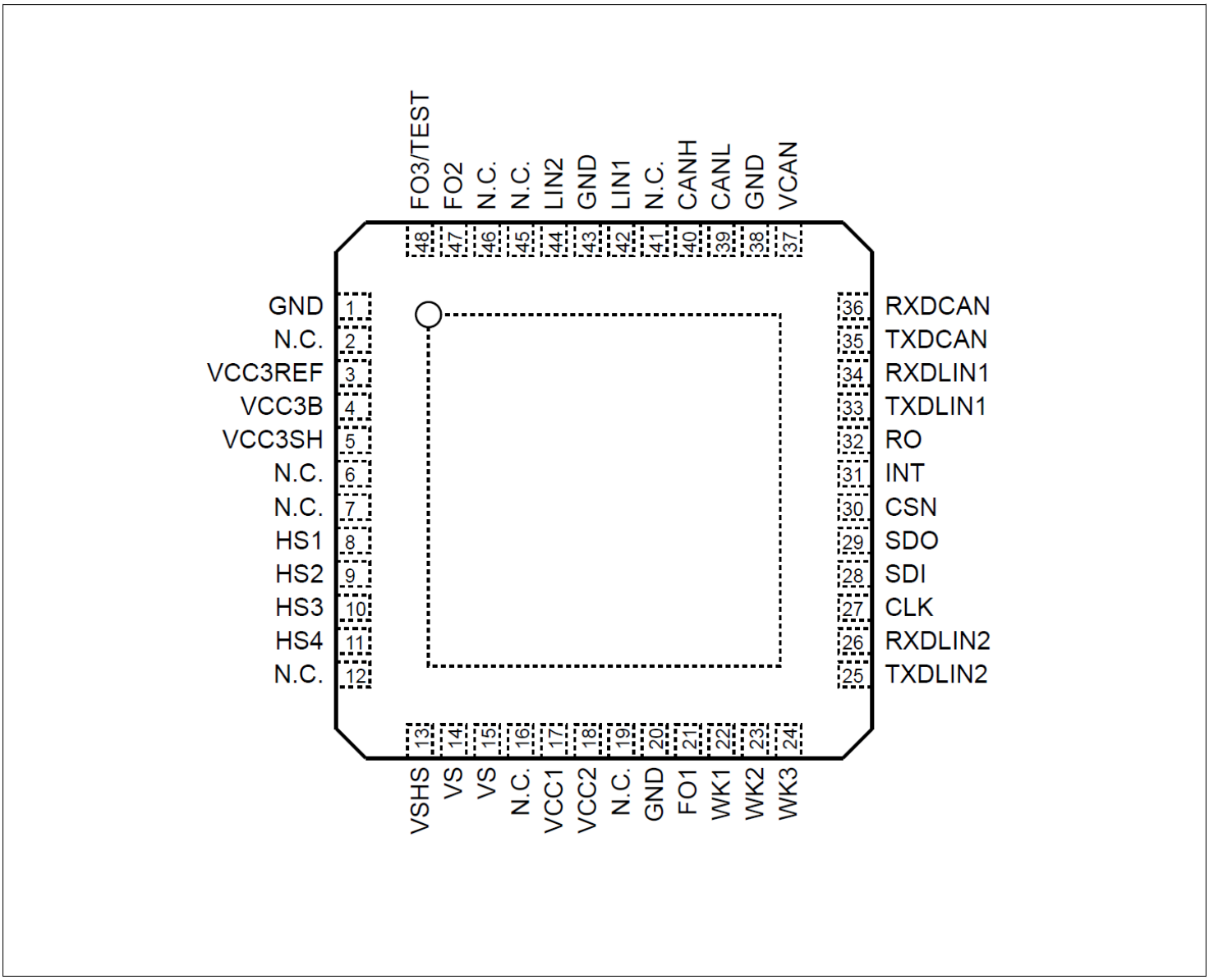


图 2 引脚配置

2.2 引脚定义和功能

Pin	Symbol	Function
1	GND	**Ground**
2	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
3	VCC3REF	**VCC3REF;** Collector connection for external PNP, reference input
4	VCC3B	**VCC3B;** Base connection for external PNP
5	VCC3SH	**VCC3SH;** Emitter connection for external PNP, shunt connection
6	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
7	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
8	HS1	**High Side Output 1;** typ. 7 Ω
9	HS2	**High Side Output 2;** typ. 7 Ω
10	HS3	**High Side Output 3;** typ. 7 Ω
11	HS4	**High Side Output 4;** typ. 7 Ω
12	n.c	**Not connected ;** internally not bonded
13	VSHS	**Supply Voltage** for High-Side Switches and *LIN* and *general purpose input output (GPIO)* 1/2 in HS configuration; Connected to battery voltage with reverse protection diode and filter to improve *electromagnetic compatibility (EMC)*; Connect to VS if separate supply is not needed
14	VS	**Supply Voltage** for chip internal supply and voltage regulators; Connected to Battery Voltage with external reverse protection diode and filter to improve EMC
15	VS	**Supply Voltage** for chip internal supply and voltage regulators; Connected to Battery Voltage with external reverse protection diode and filter to improve EMC
16	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
17	VCC1	**Voltage Regulator Output 1**
18	VCC2	**Voltage Regulator Output 2**
19	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
20	GND	**Ground**
21	FO1	**Fail Output 1**
22	WK1	**Wake Input 1;** Alternative function: HV-measurement function input pin (only in combination with WK2, see Alternate Measurement Function with WK1 and WK2)
23	WK2	**Wake Input 2;** Alternative function: HV-measurement function output pin (only in combination with WK1, see Alternate Measurement Function with WK1 and WK2)
24	WK3	**Wake Input 3**
25	TXDLIN2	**Transmit LIN2**
26	RXDLIN2	**Receive LIN2**
27	CLK	***SPI* Clock Input**
28	SDI	**SPI Data Input;** into *SBC* (= MOSI)

Pin	Symbol	Function
29	SDO	**SPI Data Output;** out of SBC (= MISO)
30	CSN	**SPI Chip Select NOT Input**
31	INT	**Interrupt Output**; used as wake-up flag for microcontroller in SBC Stop or Normal Mode and for indicating failures. Active low. During start-up used to set the SBC configuration. External pull-up sets config 1/3, no external pull-up sets config 2/4
32	RO	**Reset Output**
33	TXDLIN1	**Transmit LIN1**
34	RXDLIN1	**Receive LIN1**
35	TXDCAN	**Transmit *CAN*** ; alternate function: calibration of high-precision oscillator
36	RXDCAN	**Receive CAN**
37	VCAN	**Supply Input; for internal HS-CAN cell**
38	GND	**Ground**
39	CANL	**CAN Low Bus Pin**
40	CANH	**CAN High Bus Pin**
41	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
42	LIN1	**LIN1 Bus;** Bus line for the LIN interface, according to LIN 2.2/ISO 17987-4 as well as SAE J2602-2
43	GND	**Ground**
44	LIN2	**LIN2 Bus;** Bus line for the LIN interface, according to LIN 2.2/ISO 17987-4 as well as SAE J2602-2
45	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
46	n.c.	**Not connected ;** internally not bonded
47	FO2	**Fail Output 2** - Side Indicator; Side indicators 1.25 Hz 50% duty cycle output Open drain. Active LOW **Alternative Function: GPIO1**; configurable pin as WK, or LS, or HS supplied by VSHS (default is FO2, see also General Purpose I/O Functionality of FO2 and FO3 as Alternate Function)
48	FO3/TEST	**Fail Output 3** - Pulsed Light Output; Break/rear light 100 Hz 20% duty cycle output Open drain. Active LOW **TEST**; Connect to GND to activate SBC Development Mode Integrated pull-up resistor. Connect to VS with pull-up resistor or leave open for normal operation **Alternative Function: GPIO2**; configurable pin as WK, or LS, or HS supplied by VSHS (default is FO3, see also General Purpose I/O Functionality of FO2 and FO3 as Alternate Function)
Cooling Tab	GND	Cooling Tab - Exposed Die Pad; connect the exposed pad to GND. It is recommended to connect the exposed pad to a heat sink

注释： *所有VS引脚必须连接到电池电位或按需添加反极性保护二极管；所有接地引脚以及散热底板必须连接到一个公共接地电位；注意每个封装角处的拉杆都连接到散热底板（另请参阅封装信息）。*

2.3 未使用引脚的提示

必须确保选择了正确的配置，例如，如果某些功能未使用，则应通过*SPI*将其禁用：

- WK1/2/3：连接到地并通过SPI取消WK输入
- HSx：开路
- LINx、RXDLINx、TXDLINx、CANH/L、RXDCAN、TXDCAN：将所有引脚都开路
- RO/FOx: 开路
- INT：开路
- TEST：上电时连接到地以激活*SBC*开发模式；
  连接到 VS 或保持开路以进行正常用户模式操作
- VCC2：保持开路并禁用
- VCC3：请参阅未使用的引脚
- VCAN：连接至 VCC1
- nc: 未连接；内部未连接；连接到地
- 如果未使用的引脚被路由到*电子控制单元（ECU）*外部的连接器，则这些引脚应具有零欧姆跳线或ESD保护。

2.4 备用引脚功能提示

如果引脚功能可通过*SPI*选择，则必须确保通过SPI选择正确的配置。如果未自动完成，请参阅相关章节。

此外，还应考虑以下主题：

- WK1…2：这些引脚既可以用作高压唤醒/电压监测输入，也可以用于电压测量功能（通过WK_MEAS）。在后一种情况下，WK1…2 引脚不得用于任何唤醒检测或循环检测功能，即必须在寄存器WK_CTRL_2中禁用 WK1 和 WK2。在寄存器 WK_LVL_STAT中，电平信息需要忽略。
- FO2…3：这些引脚也可以在寄存器GPIO_CTRL中配置为GPIO 。在这种情况下，引脚不应用于任何故障输出功能。*上电复位（POR）*后的默认功能是FOx。

3 产品一般特性

3.1 绝对最大额定值

表 1 绝对最大额定值[1)]

T_j= -40°C 至 +150°C，所有电压相对于地，流入引脚的电流为正向电流
（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Voltages							
Supply Voltage (VS, VSHS)	$VS_{x, max}$	-0.3	–	28	V	–	P_4.1.1
Supply Voltage (VS, VSHS)	$VS_{x, max}$	-0.3	–	40	V	Load Dump, max. 400 ms	P_4.1.2
Voltage Regulator 1	$V_{CC1, max}$	-0.3	–	5.5	V	V_{CC1} = 5.6 V for max. 10 s	P_4.1.3
Voltage Regulator 2	$V_{CC2, max}$	-0.3	–	28	V	V_{CC2} = 40 V for Load Dump, max. 400 ms	P_4.1.4
Voltage Regulator 3 (VCC3REF)	$V_{CC3REF,max}$	-0.3	–	28	V	V_{CC3REF} = 40 V for Load Dump, max. 400 ms	P_4.1.5
Voltage Regulator 3 (VCC3B)	$V_{CC3B,max}$	-0.3	–	V_S + 10	V	V_{CC3B} = 40 V for Load Dump, max. 400 ms	P_4.1.25
Voltage Regulator 3 (VCC3SH)	$V_{CC3SH,max}$	V_S - 0.30	–	V_S + 0.30	V	–	P_4.1.26
Wake Inputs WK1…3	$V_{WK, max}$	-0.3	–	40	V	–	P_4.1.6
Fail Pin FO1	$V_{FO1, max}$	-0.3	–	40	V	–	P_4.1.7
Fail Pins FO2, FO3/TEST	$V_{FO2_3, max}$	-0.3	–	V_S + 0.3	V	–	P_4.1.23
LINx, CANH, CANL	$V_{BUS, max}$	-27	–	40	V	–	P_4.1.8
Maximum Differential *CAN* Bus Voltage	$V_{CAN_Diff, max}$	-40	–	40	V	–	P_4.1.27
Logic Input Pins (CSN, CLK, SDI, TXDLINx, TXDCAN)	$V_{I, max}$	-0.3	–	V_{CC1} + 0.3	V	–	P_4.1.9
Logic Output Pins (SDO, RO, INT, RXDLINx, RXDCAN)	$V_{O, max}$	-0.3	–	V_{CC1} + 0.3	V	–	P_4.1.10
VCAN Input Voltage	$V_{VCAN, max}$	-0.3	–	5.5	V	–	P_4.1.11

（表格续下页……）

表 1　　（续）绝对最大额定值[1)]

T_j= -40°C 至 +150°C，所有电压相对于地，流入引脚的电流为正向电流（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
High Side 1…4	$V_{HS, max}$	-0.3	–	V_{SHS} + 0.3	V	–	P_4.1.12
Currents							
Wake input WK1	$I_{WK1,max}$	0	–	500	µA	2)	P_4.1.13
Wake input WK2	$I_{WK2,max}$	-500	–	0	µA	2)	P_4.1.14
Temperatures							
Junction Temperature	T_j	-40	–	150	°C	–	P_4.1.15
Storage Temperature	T_{stg}	-55	–	150	°C	–	P_4.1.16
ESD robustness							
ESD robustness	$V_{ESD,11}$	-2	–	2	kV	3) Human-body Model HBM	P_4.1.17
ESD robustness to GND, HSx	$V_{ESD,12}$	-2	–	2	kV	3) HBM	P_4.1.18
ESD robustness to GND, CANH, CANL, LINx	$V_{ESD,13}$	-8	–	8	kV	4) 3) HBM	P_4.1.19
ESD robustness to GND	$V_{ESD,21}$	-500	–	500	V	5) Charged-device model CDM	P_4.1.20
ESD robustness Pin 1, 12,13,24,25,36,37,48 (corner pins) to GND	$V_{ESD,22}$	-750	–	750	V	5) CDM	P_4.1.21

1) 未经过生产测试，由设计指定。
2) 仅适用于将 WK1 和 WK2 配置为交替高压测量功能。
3) 静电防护性ESD，*人体模型（HBM）*根据ANSI/ESDA/JEDEC JS-001（1.5 kΩ，100 pF）。
4) 对于ESD “GUN”抗扰度 6 KV（根据 IEC61000-4-2“枪测试”（150 pF，330 Ω）），相关信息显示在应用信息中，并且 IBEE 将提供测试报告。
5) 静电防护性ESD，*充电器件模型 (CDM)* 根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002。

注释：

1. *超过此处所列的应力可能会对器件造成永久性损坏。长时间在绝对最大额定值条件下工作可能会影响器件的可靠性。*
2. *集成的保护功能旨在防止集成电路(IC)在数据手册所述故障条件下被毁坏。故障情况被认为超出了正常工作范围。保护功能不是为了连续重复的操作而设计的。*

3.2 功能范围

表 2 功能范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Supply Voltage	$V_{S,func}$	V_{POR}	–	28	V	1) V_{POR} see Electrical characteristics	P_4.2.1
LIN Bus Voltage	$V_{S,LIN,func}$	6	–	18	V	2)	P_4.2.2
CAN Supply Voltage	$V_{CAN,func}$	4.75	–	5.25	V	–	P_4.2.3
SPI frequency	f_{SPI}	–	–	4	MHz	See Electrical characteristics for fSPI,max	P_4.2.4
Junction Temperature	T_j	-40	–	150	°C	–	P_4.2.5

1) 包括上电复位、过压和欠压保护。
2) 参数根据LIN 2.2/ISO 17987-4。

注释： *在功能范围内，IC 按照电路描述正常工作。电气特性是在电气特性表中注明的条件下指定的。*

器件在指定功能性区间范围之外的行为：

- 28 V < $V_{S,func}$ < 40 V：器件仍可正常工作，包括状态机；指定的电气特性可能不再得到保证。调节器VCC1/2/3工作正常，但功率耗散较大，可能导致热关断。 HSx 开关可能会关闭，具体取决于 VSHS_OV 配置。指定的SPI 通信速度有保证；不违反绝对最大额定值，但是器件不适用于 VS > 28 V 的连续工作。器件长时间在高温下工作可能会缩短工作寿命
- 18 V < $V_{S,LIN}$ < 28 V：LIN收发器仍然正常工作。然而，通信可能会因不符合LIN规格而工作失败
- $V_{SHS,UVD}$ < $V_{S,LIN}$ < 6 V： LIN 收发器仍然有效。然而，通信可能会因不符合LIN规格而 工作失败
- V_{CAN} < 4.75 V：欠压位 VCAN_UV 将在SPI寄存器BUS_STAT_1中置位，而收发器会在*欠压（UV）*条件存在时保持禁用
- 5.25 V < V_{CAN} < 5.50 V：CAN收发器仍然正常工作。然而，通信可能会因不符合规格的操作而失败
- VPOR,f < VS < 5.5 V：器件仍可正常工作；电气特性可能不再得到保证
  - 稳压器将进入低压运行模式
    （仅适用于VCC3，前提是 VCC3_VS_UV_OFF 是置位）
  - VCC1_UV根据 Vrtx 设置，可能会触发重置
  - LIN 收发器将被禁用，当$V_{SHS,UVD}$达到，
  - HSx开关的行为将取决于相应的配置：
    - HS_UV_SD_EN ='0'（默认值）：对于 VSHS< VSHS_UV，将关闭 HSx 并保持关闭状态
    - HS_UV_SD_EN =“1”：HSx 尽可能长时间地保持开启状态。可能会发生不必要的过流关闭 OC 关闭位且相应的 HSx 切换将保持关闭状态

- 如果在 VS > 5.5 V 之前启用，FOx 输出将保持开启状态
- 保证达到规定的 SPI 通信速度。

3.3 热阻抗

表 3 热阻抗[1)]

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Junction to Soldering Point	R_{thJSP}	–	6	–	K/W	Exposed Pad	P_4.3.1
Junction to Ambient	R_{thJA}	–	33	–	K/W	2)	P_4.3.2

1) 未经过生产测试，由设计指定。

2) 根据JEDEC JESD51-2,-5,-7 标准，在FR4 2s2p电路板上且功耗为1.5W时进行自然对流。电路板：76.2 × 114.3 × 1.5mm^3，含两层内层铜箔（厚度35µm），裸露的散热焊盘下方的导热过孔阵列连接第一内层铜箔，底层（70µm）配备300mm^{2}散热区域。

3.4 电流消耗

表 4 电流消耗

电流消耗值是在T_j = 25°C、 V_S = 13.5 V、所有输出打开时标定的（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
***SBC* Normal Mode**							
Normal Mode current consumption	I_{Normal}	–	3.5	6.5	mA	V_S = 5.5 V to 28 V; T_j = -40°C to +150°C; VCC2, *CAN*, *LIN*, VCC3, HSx = OFF	P_4.4.1
SBC Stop Mode							
Stop Mode current consumption	$I_{Stop_1,25}$	–	44	60	µA	1) 2) VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable; Watchdog = OFF; no load on VCC1; I_PEAK_TH = '0'	P_4.4.2
Stop Mode current consumption	$I_{Stop_1,85}$	–	50	70	µA	1) 2) 3) T_j = 85°C; VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable; Watchdog = OFF; no load on VCC1; I_PEAK_TH = '0'	P_4.4.3
Stop Mode current consumption (high active peak threshold)	$I_{Stop_2,25}$	–	64	90	µA	1) 2) VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable; Watchdog = OFF; no load on VCC1; I_PEAK_TH = '1'	P_4.4.35
Stop Mode current consumption (high active peak threshold)	$I_{Stop_2,85}$	–	70	100	µA	1) 2) 3) T_j = 85°C; VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable; Watchdog = OFF; no load on VCC1; I_PEAK_TH = '1'	P_4.4.36
SBC Sleep Mode							
Sleep Mode current consumption	$I_{Sleep,25}$	–	15	25	µA	2) VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable	P_4.4.5

(table continues...)

表 4　　（续）电流消耗

电流消耗值是在T_j = 25°C、 V_S = 13.5 V、所有输出打开时标定的（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Sleep Mode current consumption	$I_{Sleep,85}$	–	25	35	µA	[2) 3)] T_j = 85°C; VCC2/3, HSx = OFF; CAN, LINx, WKx not wake capable	P_4.4.6
Feature Incremental Current Consumption							
Current consumption for CAN module, recessive state	$I_{CAN,rec}$	–	2	3	mA	SBC Normal/Stop Mode; CAN Normal Mode; VCC1 connected to VCAN; VTXDCAN = VCC1; no RL on CAN	P_4.4.7
Current consumption for CAN module, dominant state	$I_{CAN,dom}$	–	3	4.5	mA	[3)] SBC Normal/Stop Mode; CAN Normal Mode; VCC1 connected to VCAN; VTXDCAN = GND; no RL on CAN	P_4.4.8
Current consumption for CAN module, Receive Only Mode	$I_{CAN,RcvOnly}$	–	0.9	1.2	mA	[3) 4)] SBC Normal/Stop Mode; CAN Receive Only Mode; VCC1 connected to VCAN; VTXDCAN = VCC1; no RL on CAN	P_4.4.9
Current consumption during CAN Partial Networking frame detect mode (RX_WK_SEL = ‘1’)	$I_{CAN,SWK,25}$	–	560	690	µA	[3)] T_j = 25°C; SBC Stop Mode; VCC2, HSx = OFF; LIN, WKx not wake capable; CAN SWK wake capable, SWK Receiver enabled, WUF detect; no RL on CAN	P_4.4.4
Current consumption during CAN Partial Networking frame detect mode (RX_WK_SEL = ‘1’)	$I_{CAN,SWK,85}$	–	600	720	µA	[3)] T_j = 85°C; SBC Stop Mode; VCC2, HSx = OFF; LIN, WKx not wake capable; CAN SWK wake capable, SWK Receiver enabled, WUF detect; no RL on CAN	P_4.4.29

(table continues...)

表 4　　（续）电流消耗

电流消耗值是在T_j = 25°C、 V_S = 13.5 V、所有输出打开时标定的（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Current consumption per LIN module, recessive state	$I_{LIN,rec}$	–	0.1	1	mA	SBC Normal/Stop Mode; LIN Normal Mode; VTXDLIN = VCC1; no RL on LIN	P_4.4.10
Current consumption per LIN module, dominant state	$I_{LIN,dom}$	–	1.0	1.5	mA	3) SBC Normal/Stop Mode; LIN Normal Mode; VTXDLIN = GND; no RL on LIN	P_4.4.11
Current consumption per LIN module, Receive Only Mode	$I_{LIN,RcvOnly}$	–	0.2	0.5	mA	3) SBC Normal/Stop Mode; LIN Receive Only Mode; VTXDLIN = VCC1; no RL on LIN	P_4.4.12
Current consumption for WK1…3 wake capability (all wake inputs)	$I_{Wake,WKx,25}$	–	0.2	2	µA	5) 6) 7) SBC Sleep Mode; WK1…3 wake capable (all WKx enabled); LIN, CAN = OFF	P_4.4.13
Current consumption for WK1…3 wake capability (all wake inputs)	$I_{Wake,WKx,85}$	–	0.5	3	µA	3) 5) 6) 7) SBC Sleep Mode; T_j = 85°C; WK1…3 wake capable; (all WKx enabled); LIN, CAN = OFF	P_4.4.14
Current consumption per LIN module wake capability	$I_{Wake,LIN,25}$	–	0.2	2	µA	5) SBC Sleep Mode; LIN wake capable; WK1…3, CAN = OFF	P_4.4.15
Current consumption per LIN module wake capability	$I_{Wake,LIN,85}$	–	0.5	3	µA	3) 5) SBC Sleep Mode; T_j = 85°C; LIN wake capable; WK1…3, CAN = OFF	P_4.4.16
Current consumption for CAN wake capability (tsilence expired)	$I_{Wake,CAN,25}$	–	4.5	6	µA	2) 5) SBC Sleep Mode; CAN wake capable; WK1…3, LIN = OFF	P_4.4.17
Current consumption for CAN wake capability (tsilence expired)	$I_{Wake,CAN,85}$	–	5.5	7	µA	2) 3) 5) SBC Sleep Mode; T_j = 85°C; CAN wake capable; WK1…3, LIN = OFF	P_4.4.18

（表格续下页……）

表 4　　（续）电流消耗

电流消耗值是在T_j = 25°C、 V_S = 13.5 V、所有输出打开时标定的（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
VCC2 Normal Mode current consumption	$I_{Normal,VCC2}$	–	2.5	3.5	mA	V_S = 5.5 V to 28 V; T_j = -40 °C to +150 °C; VCC2 = ON (no load)	P_4.4.32
Current consumption for VCC2 in SBC Sleep Mode	$I_{Sleep,VCC2,25}$	–	25	35	µA	1) 5) SBC Sleep Mode; VCC2 = ON (no load); LIN, CAN, WK1…3 =OFF	P_4.4.19
Current consumption for VCC2 in SBC Sleep Mode	$I_{Sleep,VCC2,85}$	–	30	40	µA	1) 3) 5) SBC Sleep Mode; T_j = 85°C; VCC2 = ON (no load); LIN, CAN, WK1…3 = OFF	P_4.4.20
Current consumption for VCC3 in SBC Sleep Mode in stand-alone configuration	$I_{Sleep,VCC3,25}$	–	40	60	µA	1) 5) SBC Sleep Mode; VCC3 = ON (no load, stand-along config.); LIN, CAN, WK1…3 = OFF	P_4.4.21
Current consumption for VCC3 in SBC Sleep Mode in stand-alone configuration	$I_{Sleep,VCC3,85}$	–	50	70	µA	1) 3) 5) SBC Sleep Mode; T_j = 85°C; VCC3 = ON (no load, stand-along config.); LIN, CAN, WK1…3 = OFF	P_4.4.22
Current consumption for HSx in SBC Stop Mode	$I_{Stop,HSx,25}$	–	550	675	µA	5) 8) SBC Stop Mode; Cyclic Sense and HSx = ON (no load); LIN, CAN, WK1…3 = OFF	P_4.4.33
Current consumption for HSx in SBC Stop Mode	$I_{Stop,HSx,85}$	–	575	700	µA	3) 5) 8) SBC Stop Mode; T_j = 85°C; Cyclic Sense and HSx = ON (no load); LIN, CAN, WK1…3 = OFF	P_4.4.34
Current consumption for cyclic sense function	$I_{Stop,CS25}$	–	20	28	µA	5) 9) 10) SBC Stop Mode; *watchdog (WD)* = OFF	P_4.4.23
Current consumption for cyclic sense function	$I_{Stop,CS85}$	–	24	35	µA	3) 5) 9) 10) SBC Stop Mode; T_j = 85°C; WD = OFF	P_4.4.27

（表格续下页……）

表 4 （续）电流消耗

电流消耗值是在T_j = 25°C、 V_S = 13.5 V、所有输出打开时标定的（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Current consumption for watchdog active in Stop Mode	$I_{Stop,WD25}$	–	20	28	µA	3) SBC Stop Mode; Watchdog running	P_4.4.30
Current consumption for watchdog active in Stop Mode	$I_{Stop,WD85}$	–	24	35	µA	3) SBC Stop Mode; T_j = 85°C; Watchdog running	P_4.4.31
Current consumption for active fail outputs (FO1…3)	$I_{Stop,FOx}$	–	1.0	2.0	mA	3) All SBC Modes; T_j = 25°C; FOx = ON (no load)	P_4.4.24
Current consumption for GPIOx if configured as low-side/high-side for SBC Stop or Sleep mode	$I_{Stop,GPIOx,LS/HS}$	–	450	550	µA	3) SBC Stop/Sleep mode; *GPIO* configured as LS/HS (no load)	P_4.4.37
Current consumption for GPIOx if configured as low-side/high-side for SBC Stop or Sleep mode	$I_{Stop,GPIOx,LS/HS}$	–	450	600	µA	3) SBC Stop/Sleep mode; T_j = -40°C…150°C;GPIO configured as LS/HS (no load)	P_4.4.38

1) 如果 VCC1 上的负载电流超过配置的 VCC1 活动峰值阈值IVCC1,Ipeak1,r 或IVCC1,Ipeak2,r ，电流消耗将增加典型值2.9 mA，已确保最佳的动态负载行为。 VCC2 也同样如此。对于 VCC3，电流消耗将增加典型值1.4 mA。另见稳压器1 、稳压器2、外部稳压器3。
2) CAN 未配置为选择性唤醒模式。
3) 未经过生产测试，由设计指定。
4) 电流消耗加法器也适用于WUF检测（帧检测模式）期间的CAN PN功能已激活。
5) 电流消耗加法器定义于SBC休眠模式，也适用于SBC停止模式且反之亦然（除非另有说明）。
6) 未选择上拉或下拉配置。
7) 无论激活了多少个WK输入，特定唤醒功能增加的消耗电流均适用。
8) typ. 75 µA/max 125 µA (T_j = 85°C) 加法器适用于任一额外激活的高边开关，在 SBC 停止模式。在 SBC 正常模式，每个高边开关消耗 typ. 75 µA/max 125 µA (T_j = 85°C) 由于偏置电流已经启用，因此无需初始加法器。
9) HS1 用于循环检测，定时器 2，20 ms 周期，0.1 ms 开启时间，HS1 上无负载。一般而言，用于循环监测的电流损耗加法器在 SBC 停止模式可以用以下公式计算： $I_{Stop,CS} = 20\ µA + (550\ µA \times t_{ON/TPer})$。
10) 也适用于循环唤醒。

注释： *没有额外的电流消耗来自脉宽调制(PWM) 发生器。*

4 系统功能

本章介绍 CLE9263-3BQX 的系统功能和行为：

- 状态机
- *SBC* 模式控制
- 器件配置
- 供电和外围设备状况
- 循环监测或循环唤醒等系统功能
- 监督和诊断功能

系统基础芯片单板SBC 提供六种工作模式：

- SBC 初始化模式：器件上电并在软复位后
- SBC 正常模式：器件的主要工作模式
- SBC 停止模式：第一级省电模式，主稳压器VCC1启用
- SBC 休眠模式：第二级省电模式，此时 VCC1 禁用
- SBC 重启模式：从SBC 休眠模式或故障安全模式唤醒事件后或发生故障（例如 *WD* 故障、VCC1 欠压复位）后的中间模式，通过复位使微控制器进入定义状态。一旦故障条件不再存在，器件在延迟时间 （tRD1）后切换至SBC正常模式
- SBC故障安全模式：在发生严重故障（例如，WD故障、VCC1欠压复位）后进入的安全状态模式，旨在使系统进入安全状态并确保系统能够正确重启。VCC1将被禁用。此状态将持续到发生唤醒事件（通过*CAN* 、LINx或WKx）或过温条件不再存在为止

在软件开发或系统调试期间，可使用一种称为SBC开发模式的特殊模式。该模式下可访问上述所有工作模式，但看门狗计数器处于停止状态且无需触发。通过在SBC初始化模式中将TEST引脚接地即可进入此模式。

器件可以通过硬件（外部元器件）进行配置，以确定看门狗触发失败后器件的行为。参见器件配置和 SBC 初始化模式以了解更多信息。

系统基础芯片通过 16 位*SPI* 接口进行控制。详细描述可以参见串行外设接口。配置和诊断均通过SPI 进行处理。

4.1 状态机的模块描述

不同的*SBC*模式通过*SPI*进行选择，即在寄存器 M_S_CTRL 中设置相应的 SBC MODE 位。当器件经历 SBC 重启模式时，SBC MODE 位将被清零，因此这些位始终反映当前的 SBC 模式。

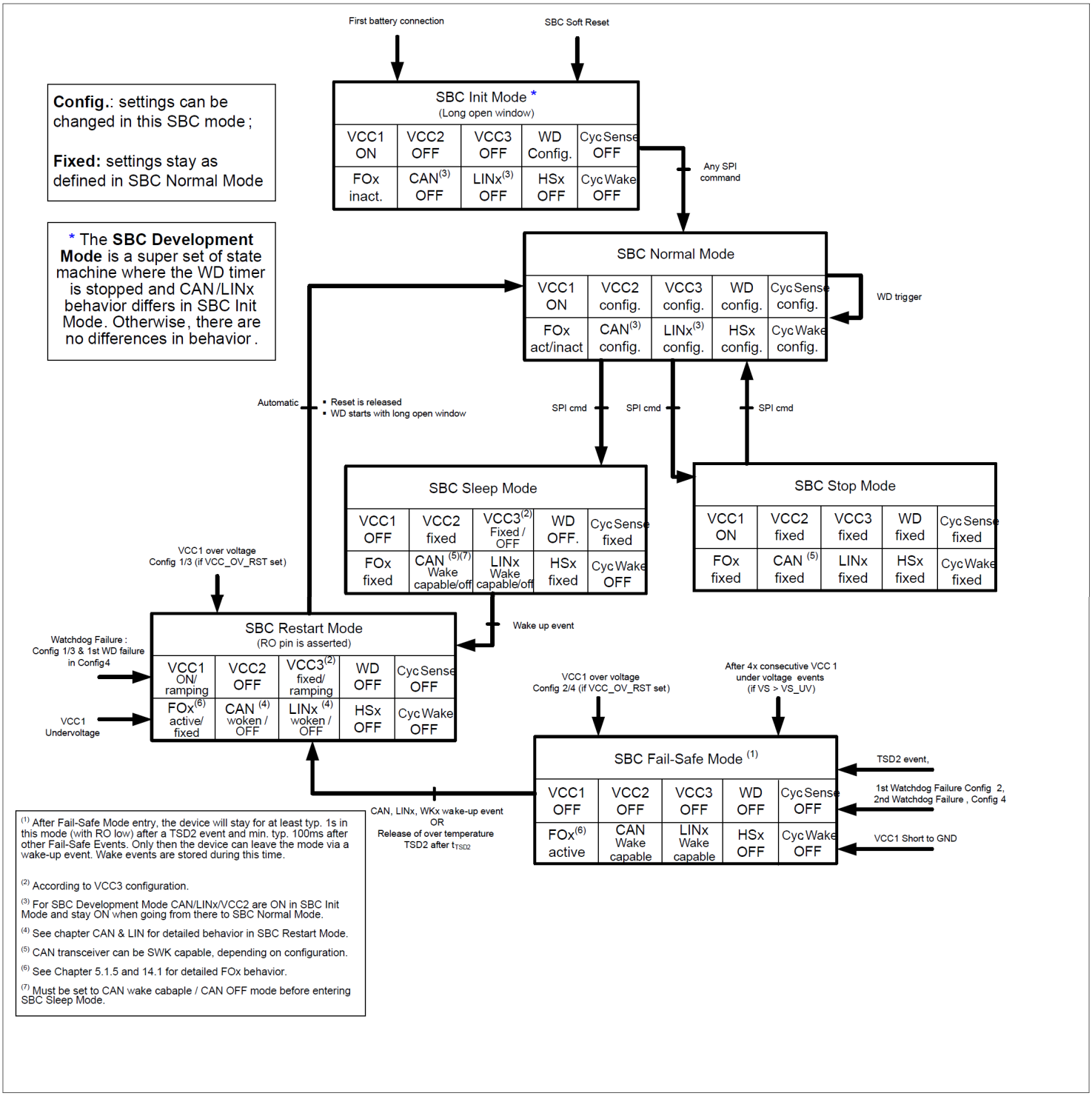


图 3　　状态图显示了 SBC 的工作模式，包括 CAN PN

4.1.1 器件配置和SBC初始化模式

SBC 从SBC初始化模式启动，当供电电压超过启动电压 VPOR,r 阈值（另见 VS 上电复位），看门狗也会以一个长开窗 (tLW)开始。

在此期间，以下配置存储在器件中：

- 有关看门狗触发失败和 VCC1 过压触发的器件行为由 INT 引脚上的外部电路决定（见下文）
- 正常器件模式或SBC开发模式（出于调试目的禁用看门狗）将根据 FO3/TEST 引脚的电平进行选择（另请参见SBC开发模式）

4.1.1.1 器件配置

配置旨在选择 *SBC* 关于看门狗触发的行为。根据应用需求，VCC1 输出应关闭，器件应进入SBC 故障安全模式，在看门狗故障的情况（1 或 2 次故障）。要配置此配置（Config 2/4），INT 引脚不需要外部上拉电阻。如果 VCC1 不应关闭（配置 1/3），INT 引脚需要有一个外部上拉电阻连接到 VCC1（请参阅应用图）。

图 5 显示硬件配置选择的时序图。硬件配置在SBC初始化模式期间定义。在复位延迟时间tRD1期间，INT 引脚被内部拉低，即VCC1 越过复位阈值VRT1之后且RO引脚变高之前。在此期间，INT引脚被监视（使用一个连续滤波时间tCFG_F）并且配置（取决于 INT 的电平）在RO的上升沿进行储存。

注释： *如果POR 位未清除，则每次RO拉低时，内部下拉电阻都会重新激活，配置将在 RO 上升沿时更新。因此，建议清除POR 位后立即进行初始化。如果INT处没有稳定的信号，那么默认值“0”将作为配置选择值* = SBC *故障安全模式。*

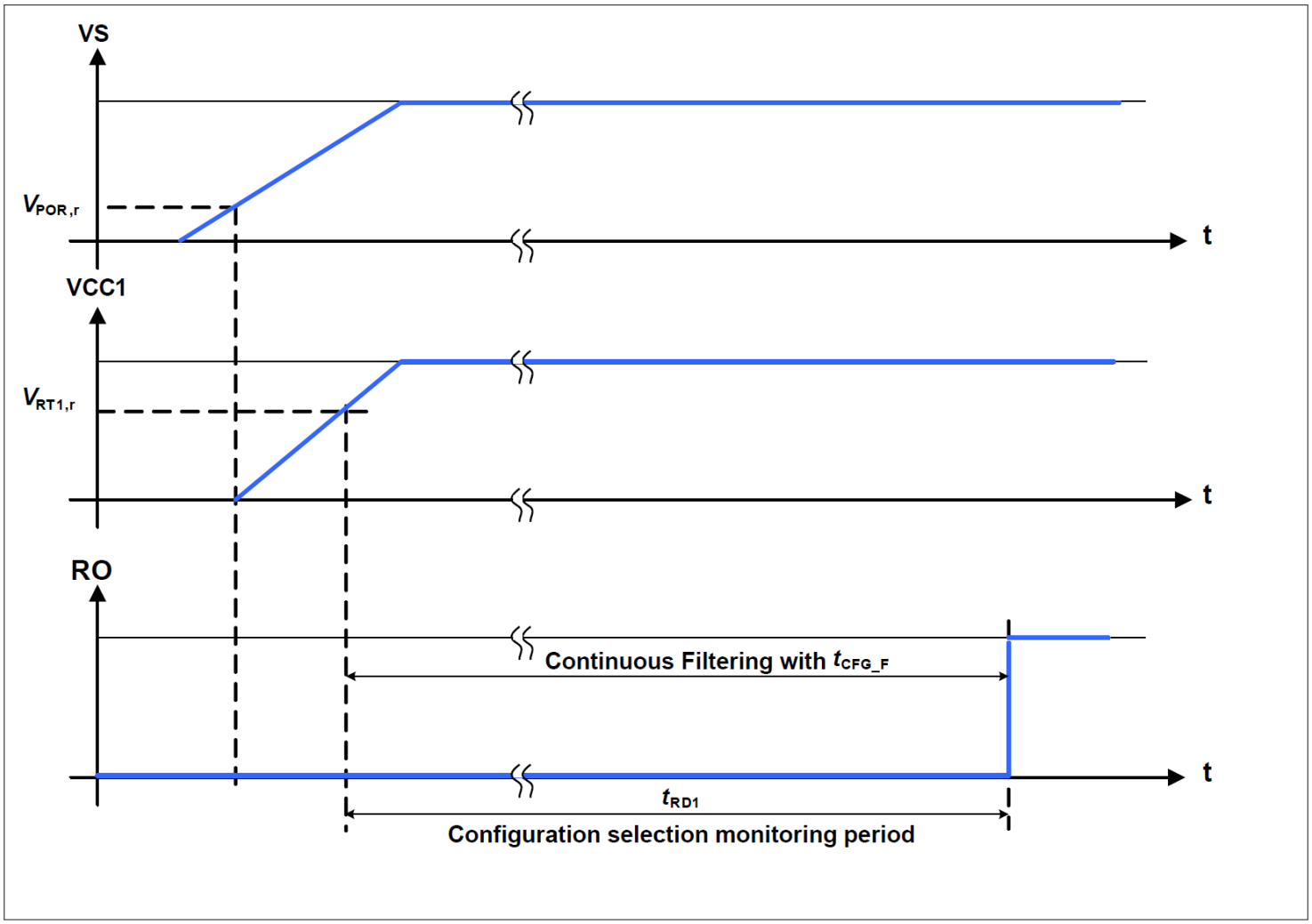


图 4　　硬件配置选择时序图

有四种不同的器件配置（器件配置）可用于定义看门狗故障和 VCC1 过压行为。这些配置项可通过INT引脚的外部连接和寄存器 HW_CTRL中的*SPI* 位CFG 进行选择（另见SPI 位映射）：

- CFGP ='1'：配置 1 和配置 3：
  - 看门狗触发故障会引起SBC重启模式，具体取决于CFG 故障输出 (FOx) 在第一次（配置 1）或第二次（配置 3）看门狗触发故障后激活。
  - VCC1 过压检测将引起SBC重启模式，如果 VCC1_OV_RST 置位。
    VCC1_OV 将被置位并且故障输出被激活
- CFGP ='0'：配置 2 和配置 4：
  - 看门狗触发故障导致SBC 故障安全模式取决于CFG 故障输出 (FOx) 在第一次（配置 2）或第二次（配置 4）看门狗触发故障后激活。配置 4 中的第一次看门狗触发故障将导致SBC重启模式
  - VCC1 过压检测将导致SBC进入故障安全模式，如果 VCC1_OV_RST置位。
    VCC1_OV 将被置位并且故障输出被激活

器件配置可以通过读取寄存器HW_CTRL 中的SPI位CFG 和寄存器WK_LVL_STAT中的CFG　P 位来识别。

器件配置显示看门狗触发故障时的配置和器件行为：

表 5　　看门狗触发故障配置

Config	INT Pin (CFGP)	SPI Bit CFG	RO activation	FOx activation	SBC Mode Entry
1	External pull-up	1	Each watchdog failure	After 1st *WD* failure	SBC Restart Mode
2	No ext. pull-up	1	Each watchdog failure	After 1st WD failure	SBC Fail-Safe Mode after 1st WD failure
3	External pull-up	0	Each watchdog failure	After 2nd WD failure	SBC Restart Mode
4	No ext. pull-up	0	Each watchdog failure	After 2nd WD failure	SBC restart mode after 1st WD failure. SBC Fail-Safe Mode after 2nd WD failure

表6 显示了配置和器件行为。当VCC1过压时，VCC1_OV_RS T 置位:

表 6　　VCC1 过压检测时的器件行为

Config	INT Pin (CFGP)	CFG Bit	VCC1_OV_RST	Event	VCC1_OV	FOx Activation	SBC Mode Entry
1-4	Any value	x	0	1 x VCC1 OV	1	No FOx activation	Unchanged
1	External pull-up	1	1	1 x VCC1 OV	1	After 1st VCC1 OV	SBC Restart Mode
2	No ext. pull-up	1	1	1 x VCC1 OV	1	After 1st VCC1 OV	SBC Fail-Safe Mode
3	External pull-up	0	1	1 x VCC1 OV	1	After 1st VCC1 OV	SBC Restart Mode
4	No ext. pull-up	0	1	1 x VCC1 OV	1	After 1st VCC1 OV	SBC Fail-Safe Mode

相应的配置将被存储以适应所有情况，并且只能通过关闭器件电源（VS < VPOR,f）来更改。

4.1.1.2 SBC 初始化模式

在*SBC*初始化模式下，器件等待微控制器完成其启动时序和初始化。在SBC初始化模式中任何有效的*SPI* 命令将使SBC进入SBC正常模式。在打开的长窗口期间，必须触发看门狗。这样看门狗就会被自动配置。

打开的长窗口期间丢失看门狗触发将导致看门狗故障并且器件将进入SBC 重启模式。

在 SBC 初始化模式，唤醒事件将被忽略。因此将会丢失。

注释：

1. *任何*SPI *命令将引起*SBC *到*SBC *正常模式，即使是非法的*SPI *命令（参见*SPI数据输出中的故障信号*）。*
2. *为确保安全启动，建议使用第一个*SPI *触发和配置看门狗的命令（参见*看门狗功能*）。*
3. *上电时没有*VCC1_UV *问题，只要VCC1 低于$V_{RT,x}$阈值，并且VS 低于VCC1 短路检测阈值*VS,UV，也不会触发FOx。 *只要VCC1 低于选定的$V_{RT,x}$阈值， RO 引脚就会保持低电平。*

4.1.2 SBC 正常模式

SBC 正常模式是 SBC 的标准工作模式。所有的配置都需要在 SBC 正常模式进入低功耗模式之前完成（另见 SBC 故障安全模式，其中器件配置定义了故障安全模式下的行为）。唤醒事件发生在 *CAN*, LINx 和 WKx 会在 INT引脚引发中断 - 但是，不会引起 SBC 模式的改变。配置选项例举如下：

- VCC1 激活
- VCC2 可以打开或关闭（默认 = 关闭）
- VCC3 可配置（SBC 初始化模式默认关闭）。按照之前的配置，如果从SBC 重启模式进入
- CAN 可配置（ SBC 初始化模式默认关闭； 关闭或者可唤醒如果从 SBC 重启模式进入，另见 SBC 重启模式）
- *LIN*可配置(SBC 初始化模式默认关闭； 关闭或者可唤醒如果从SBC重启模式进入则为关闭或可唤醒 ，另请参阅SBC 重启模式 ）
- HS 输出可以开启或关闭（默认关闭），也可以通过 *PWM* 控制；如果从 SBC 重启模式下进入，HS 输出默认关闭。
- 唤醒引脚显示输入电平，并且可以选择启用唤醒功能（中断）
- 循环检测可配置为使用 HS1…4 和定时器1 或定时器 2
- 循环唤醒可配置定时器 1 或定时器 2
- 看门狗可配置
- 默认情况下，所有 FOx 输出均处于关闭状态。从SBC重启模式返回后，FOx 可能处于激活状态（例如，由于故障事件，如看门狗触发故障、VCC1 短路等），也可能处于非激活状态（未发生故障）

在SBC正常模式下，可以测试FO输出，即验证将FO引脚设置为低电平是否会产生系统预期的行为。微控制器可以启用和禁用FO输出，通过FO_ON的*SPI* 位。此功能仅用于测试目的。

4.1.3 SBC 停止模式

SBC 停止模式是第一种通过将稳压器VCC1、VCC2和VCC3设置为低功耗模式来降低总体电流消耗的技术。在此模式下，VCC1 仍然激活并为微控制器供电，微控制器可以进入掉电模式。 VCC2 电源、*CAN* 和*LIN* 模式以及 HSx 输出可以配置为保持启用状态。所有设置都必须在进入SBC停止模式之前完成。在SBC停止模式任何类型的*SPI* 写入命令被忽略，并且SPI_FAIL 置位，除了进入SBC 正常模式，触发SBC 软复位，刷新看门狗以及读取和清除SPI 状态寄存器。唤醒事件通过CAN 、LINx 和 WKx 均会在 INT 引脚上产生中断，但不会改变SBC 的模式。配置选项例举如下：

- VCC1 开启
- VCC2 按 SBC 正常模式中的配置固定
- VCC3 按 SBC 正常模式中的配置固定
- CAN 按 SBC 正常模式中的配置固定
- LIN 按 SBC 正常模式中的配置固定
- WK 引脚按 SBC 正常模式中的配置固定
- HS 输出按 SBC 正常模式中的配置固定
- 循环监测按 SBC 正常模式中的配置固定
- 循环唤醒功能按 SBC 正常模式中的配置固定
- 看门狗已按 SBC 正常模式中的配置固定
- SBC 可以触发软复位
- FOx 输出是固定的，即：状态来自 SBC 正常模式被保持

INT引脚产生中断，当 SBC 进入停止模式，但不是所有在寄存器 WK_STAT_1 和寄存器 WK_STAT_2 中的唤醒标志位均被清除。

注释：

1. *如果开关在*SBC *停止模式下启用。例如，在停止模式下，无论开启HSx是否通过PWM ，*SBC *的电流损耗都会增加（参见*电流损耗 *）。*
2. *无法直接从*SBC *停止模式到*SBC *休眠模式。这样做也会设置*SPI_FAIL *标志并会导致*SBC *进入重启模式。*
3. *当WK1 和WK2 配置为交替测量功能（*WK_MEAS *=1）时，唤醒输入端不能被选作唤醒输入源。*

4.1.4 SBC休眠模式

*SBC*休眠模式是第二级将总电流消耗降低到最低限度的技术，以响应唤醒事件或使SBC 执行自主操作（例如，循环检测）。在此模式下，VCC1 关闭，不再为微控制器供电。VCC2 电源以及 HSx 输出可以配置为保持启用状态。这些设置必须在进入SBC 休眠模式之前完成。*CAN*、LINx 或 WKx 上的唤醒事件将使器件通过SBC 重启模式进入SBC 正常模式并向唤醒源发送信号。配置选项如下：

- VCC1 关闭
- VCC2 按 SBC 正常模式中的配置固定
- VCC3 按 SBC 正常模式中的配置固定或关闭
- CAN模式会自动从开启或仅接收模式切换到唤醒模式，也可以选择关闭
- CAN必须设置CAN 可唤醒/CAN关闭，在SBC 进入休眠模式之前
- *LIN*会自动从“开启”或“仅接收”模式切换到“唤醒”模式，也可以选择关闭
- WK 引脚按 SBC 正常模式中的配置固定
- HS 输出按 SBC 正常模式中的配置固定
- 循环检测按 SBC 正常模式中的配置固定
- 不提供循环唤醒功能
- 看门狗关闭
- FOx 输出是固定的，状态来自 SBC 正常模式被保持
- 在SBC 休眠模式VCC1处于关闭状态。无*SPI*通信
- 休眠模式通过SPI 寄存器 DEV_STAT 中配置位DEV_STAT进入

在SBC休眠模式中，无法关闭所有唤醒源。这样做将导致 SPI_FAIL置位。并且引起SBC进入SBC重启模式。

为了成功进入SBC 休眠模式，所有唤醒源信号标志在寄存器 WK_STAT_1 和寄存器 WK_STAT_2 中的均需要清除。否则，系统将立即从SBC休眠模式唤醒，并通过SBC重启模式进入正常模式。

所有设置必须在进入 SBC 休眠模式之前完成。

注释：

1. *如果开关在*SBC *休眠模式期间启用，例如开启HSx，无论是否通过PWM*，SBC *电流消耗都会增加（参见*电流消耗*）。*
2. *如果发生过流、过温、欠压或过压（如果选择了该功能），循环检测功能将不再正常工作，因为相应的HS 开关将被禁用。*
3. *当WK1 和WK2 配置为交替测量功能（*WK_MEAS *=1）时，唤醒输入端不能被选作唤醒输入源。*

4.1.5 SBC 重启模式

进入*SBC* 重启模式的理由有很多。SBC 重启模式的目的是重启微控制器：

- VCC1欠压发生在SBC 正常模式中以及在SBC停止模式中
- VCC1过压，则VCC1_OV_RST 置位且CFGP = '1'
- 由于第一次看门狗触发错误（仅当选择配置 1、配置 3 或配置 4 时才会发生，否则会立即进入SBC故障安全模式）
- 如果从 SBC 休眠模式或 SBC 故障安全模式唤醒，或过温关断 (TSD2)引起的SBC 故障安全模式中释放。则此过程用于以定义的方式在唤醒后为 VCC1 充电

从 SBC 重启模式，SBC 自动进入SBC 正常模式，即SBC 自动退出，不受任何微控制器的影响。SBCMODE位被清除。如图52所示，复位输出（RO）在进入重启模式时被拉低，并在复位延迟时间（tRD1） 后转换到正常模式时释放。看门狗定时器将从 RO 上升沿的时刻开启长窗口，并在寄存器 WD_CTRL 中的周期将更改为各自的默认值“100”。

退出SBC重启模式不会导致故障输出发生更改/停用。各模块的行为如下所示：

- 如果第一个看门狗触发失败，则所有 FOx 输出均被激活（如果选择了配置 1 或配置 2）或检测到 VCC1 过压（如果VCC1_OV_RST 置位）
- VCC1 开启或升压
- VCC2将被禁用，如果之前被激活
- VCC3 固定或上升，具体配置见 SBC 正常模式
- *CAN* 唤醒是由于唤醒事件或者关闭，取决于之前的 SBC 和收发器模式（另见高速CAN收发器）。它可以被唤醒，当它处于 CAN 正常，仅接受或者可唤醒模式，在进入SBC 重启模式之前。
- *LIN* 唤醒是由于唤醒事件或者关闭，取决于之前的 SBC和收发器模式（另见 LIN 收发器）。它可以被唤醒，当它处于 LIN 正常，仅接受或者可唤醒模式，在进入SBC重启模式之前。
- 如果之前已激活，则 HS 输出将被禁用
- RO被拉低在 SBC 重启模式下
- *SPI* 通讯被 SBC 忽略，也就是说没有被解读
- 进入重启模式会记录在 SPI 寄存器 DEV_STAT 中的位DEV_STAT

表 7 重启原因 - 返回正常模式后 SPI 状态位的状态

Prev. SBC Mode	Event	DEV_STAT	WD_FAIL	VCC1_UV	VCC1_OV	VCC1_SC
Normal	1x Watchdog Failure	01	01	x	x	x
Normal	2x Watchdog Failure	01	10	x	x	x
Normal	VCC1 undervoltage reset	01	xx	1	x	x
Normal	VCC1 overvoltage reset	01	xx	x	1	x
Stop	1x Watchdog Failure	01	01	x	x	x
Stop	2x Watchdog Failure	01	10	x	x	x
Stop	VCC1 undervoltage reset	01	xx	1	x	x
Stop	VCC1 overvoltage reset	01	xx	x	1	x
Sleep	Wake-up event	10	xx	x	x	x
Fail-Safe	Wake-up event	01	See "Reasons for Fail Safe, Table 8"			

注释：

1. *VCC1上的过压事件只会导致SBC 进入重启模式，如果VCC1_OV_RST 置位，并且CFGP = '1'（配置1/3）。*
2. *WD_FAIL 位的内容取决于器件配置，例如，1 或2 看门狗故障。*

4.1.6 SBC 故障安全模式

此模式的目的是通过关闭 VCC1 电源并关闭微处理器，使系统在故障后处于安全状态。唤醒事件发生后，系统可以再次重新启动。

发生下列事件时，故障安全模式将自动进入：

- *SBC* 热关断 (TSD2)之后（另见 SBC热关断 ）
- VCC1过压，则VCC1_OV_RST 置位且CFGP = '0'
- 在配置2 中第一次不正确的看门狗触发后（CFG = 1) 并且在配置4 中第二次错误的看门狗触发之后 (CFG = 0)（另请参见器件配置和 SBC 初始化模式）
- VCC1 短路到地（另见VCC1短路和VCC3诊断），
- 连续发生 4 次 VCC1 欠压事件后（仅当 VS > VS,UV，参见VCC1 过压/欠压和欠压预警）

在这种情况下，默认唤醒源（*CAN*、LINx 、WK1…3，另请参见寄存器 WK_CTRL_2 、寄存器 BUS_CTRL_1 和寄存器 BUS_CTRL_2 ）是激活的，唤醒事件在寄存器 WK_STAT_1 被清除，所有的输出和电源轨被关闭。当WK1 和 WK2 被设置为测量模式 WK_MEAS =1） ，那么WK1 和 WK2 将保持测量功能，当 SBC 进入故障安全模式，即它们不会被激活为唤醒源。

SBC故障安全模式将保持，直至默认唤醒源收到唤醒事件。为避免快速切换，系统设置了约100毫秒（tFS,min）滤波时间。此时间内的唤醒事件将被存储，并在滤波时间结束后自动进入SBC重启模式。若VCC1过温关断（TSD2），则SBC 将在约1秒（tTSD2） 的滤波时间后自动进入重启模式，无需唤醒事件。SBC 退出故障安全模式不会导致故障输出引脚失效。

以下功能将会被影响，当 SBC 处于故障安全模式下：

- 所有FOx输出被激活（另见故障输出）
- VCC1 关闭
- VCC2 关闭
- VCC3 关闭
- CAN 可唤醒
- LINx 可唤醒
- HS 输出关闭
- WK 引脚可通过静态检测唤醒（默认滤波时间为16微秒）
- 循环检测和循环唤醒已禁用
- *SPI* 由于 VCC1 关闭，通信已禁用。
- 故障安全模式的激活记录在SPI 寄存器DEV_STAT 中的FAILURE 位和 DEV_STAT 位

表 8 故障安全原因 - 返回正常模式后 SPI 状态位的状态

Prev. SBC Mode	Failure Event	DEV_STAT	TSD2	WD_FAIL	VCC1_UV	VCC1_UV_FS	VCC1_OV	VCC1_SC
Normal	1 x Watchdog Failure	01	x	01	x	x	x	x

（表格续下页.....）

表 8 （续）故障安全原因 - 返回正常模式后 SPI 状态位的状态

Prev. SBC Mode	Failure Event	DEV_STAT	TSD2	WD_FAIL	VCC1_UV	VCC1_UV_FS	VCC1_OV	VCC1_SC
Normal	2 x Watchdog Failure	01	x	10	x	x	x	x
Normal	TSD2	01	1	xx	x	x	x	x
Normal	VCC1 short to GND	01	x	xx	1	x	x	1
Normal	4 x VCC1 *UV*	01	x	xx	1	1	x	x
Normal	VCC1 overvoltage	01	x	xx	x	x	1	x
Stop	1 x Watchdog Failure	01	x	01	x	x	x	x
Stop	2 x Watchdog Failure	01	x	10	x	x	x	x
Stop	TSD2	01	1	xx	x	x	x	x
Stop	VCC1 short to GND	01	x	xx	1	x	x	1
Stop	4 x VCC1 UV	01	x	xx	1	1	x	x
Stop	VCC1 overvoltage	01	x	xx	x	x	1	x

注释：

1. *VCC1上的过压事件只会导致*SBC *故障安全模式，前提是位*VCC1_OV_RST *置位并且*CFGP = '0' *（配置 2/4）。*
2. *WD_FAIL 位的内容取决于器件配置，例如，1 或2 看门狗故障。*
3. *参见*VCC1欠压和欠压预警*，了解连续四次VCC1 欠压行为的详细描述。*

4.1.7 SBC开发模式

SBC 开发模式用于模块的开发过程中。它对软件开发尤其有用。

与默认的SBC用户模式操作相比，此模式是状态机的上级设置。该器件也会在SBC初始化模式下启动，并且可以使用所有SBC模式和功能，但存在以下区别：

- 看门狗已停止运行，无需再触发。因此，看门狗故障不会触发复位
- 虽然看门狗故障导致无法进入 SBC 故障安全模式和 SBC 重启模式，但其他进入这些模式的原因仍然有效
- LINx、*CAN* 和 VCC2 默认值在 SBC 初始化模式下以及之后进入SBC正常模式时 ON 而非 OFF

如果 FO3/TEST 设置并保持低电平，在SBC初始化模式期间，则会自动进入SBC开发模式。当 VS >VPOR,f 时，电压电平监测立即启动。若在 FO3/TEST 为低电平的情况下，通过发送任意 *SPI* 命令退出 SBC 初始化模式，则配置并保持该开发模式。若在监测期间 FO3/TEST 电平为高的持续时间超过 tTEST，则无法进入 SBC 开发模式。

SBC 在所有情况下都将保持这种模式，只能通过关闭器件电源（VS < VPOR,f ）才能退出。

注释： *必须遵守引脚 FO3/TEST 的绝对最大额定值。为了在调试或编程期间增加该引脚的鲁棒性，可以在 FO3/TEST 和连接器之间添加串联电阻器（参见*图 66 *）。*

4.2 唤醒特性

器件具有以下唤醒源：

- 静态检测：WK 输入永久处于激活状态（参见唤醒和电压监测输入）
- 循环检测：WKx 输入仅在循环检测周期的导通时间内激活（见下文）
- 循环唤醒：通过定时器控制的内部唤醒源（见下文）
- *CAN* 唤醒：通过CAN 报文唤醒（参见高速 CAN收发器）
- *LIN* 唤醒：通过LIN 报文唤醒（参见LIN 收发器）

“循环检测”和“循环唤醒”差异的解释说明

4.2.1 循环检测

循环检测的特点是减少器件和应用的静态电流。在循环检测配置中，一个或多个高边驱动由寄存器 TIMER1_CTRL 以及寄存器 TIMER2_CTRL循环地控制打开。相应的高边驱动器为外部电路（例如开关和/或电阻阵列）供电，这些外部电路连接到一个或多个唤醒输入（参见图 5 ）。在循环检测周期的导通时间内，WKx 输入信号的任何边沿变化都会引起唤醒。这取决于*SBC* 模式，要么 INT 被拉低（在SBC 正常模式和停止模式下）或SBC 唤醒后启用 VCC1（在 SBC 休眠模式和SBC 故障安全模式下）。

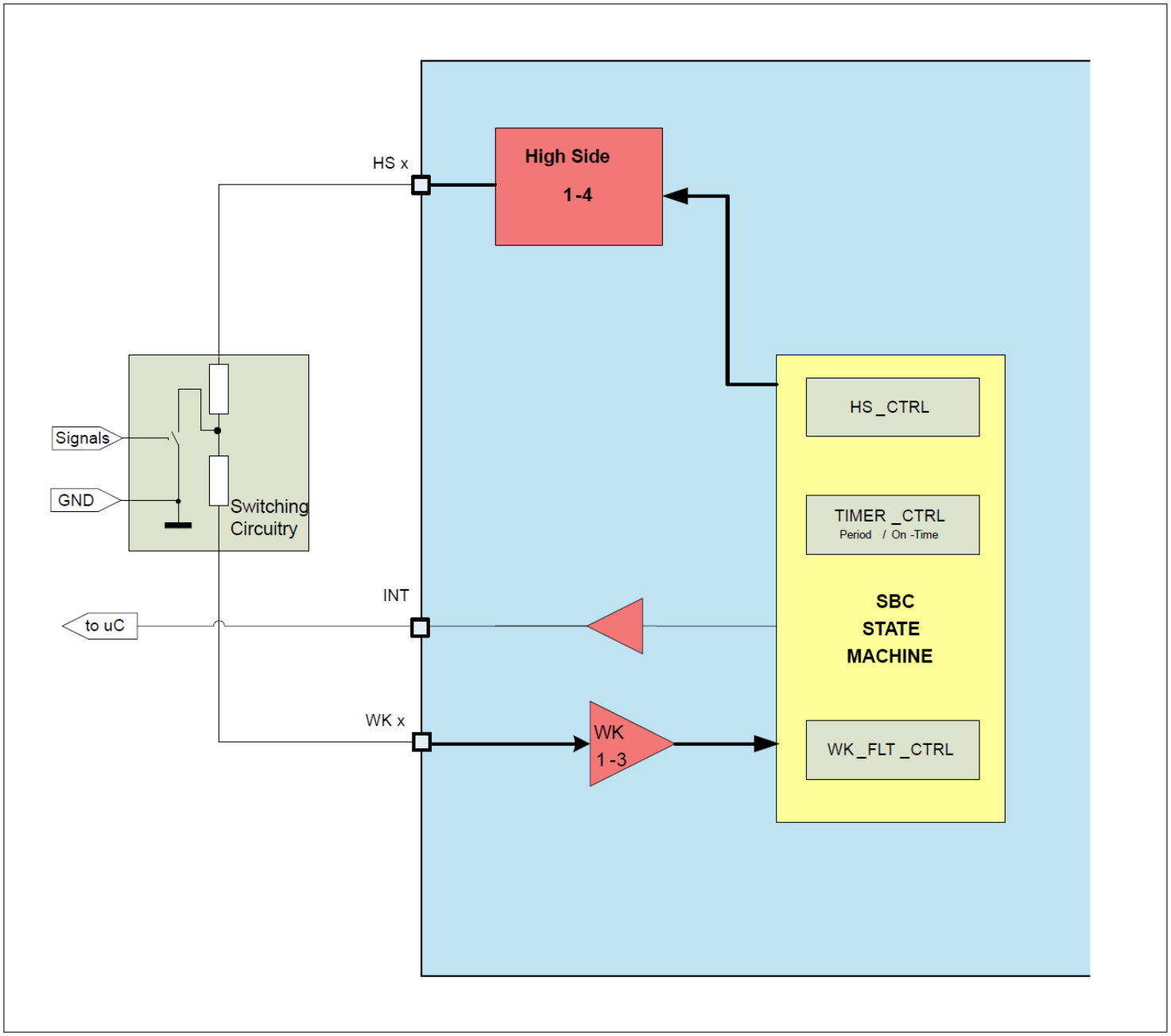

HS x
High Side
1 -4
HS _CTRL
TIMER _CTRL
Period / On -Time
SBC
STATE
MACHINE
WK _FLT _CTRL
Signals
GND
Switching
Circuitry
INT
to uC
WK x
WK
1 -3

图5　　循环检测工作原理

4.2.1.1 循环检测的配置和操作

配置循环检测的正确时序如图 6所示。所有的配置需要在导通时间开始之前在 TIMER_CTRL 寄存器中设置好。“OFF / LOW” 和 “OFF / HIGH” 定义了高边驱动在开始循环检测之前的电平。这是为了防止在循环检测开始的瞬间误触发唤醒。

循环检测（=TimerX）将在选择相应的导通时间后立即启动，该导通时间独立于 HS 和滤波器配置的赋值。相应定时器的选择（配置 C/D，参见唤醒输入配置）因此必须在定时器启动之前正确配置，顺序如下：

- 配置初始电平
- 将定时器映射到相应的 HSx 输出
- 配置相应的滤波器时序和WK引脚
- 配置定时器周期和导通时间

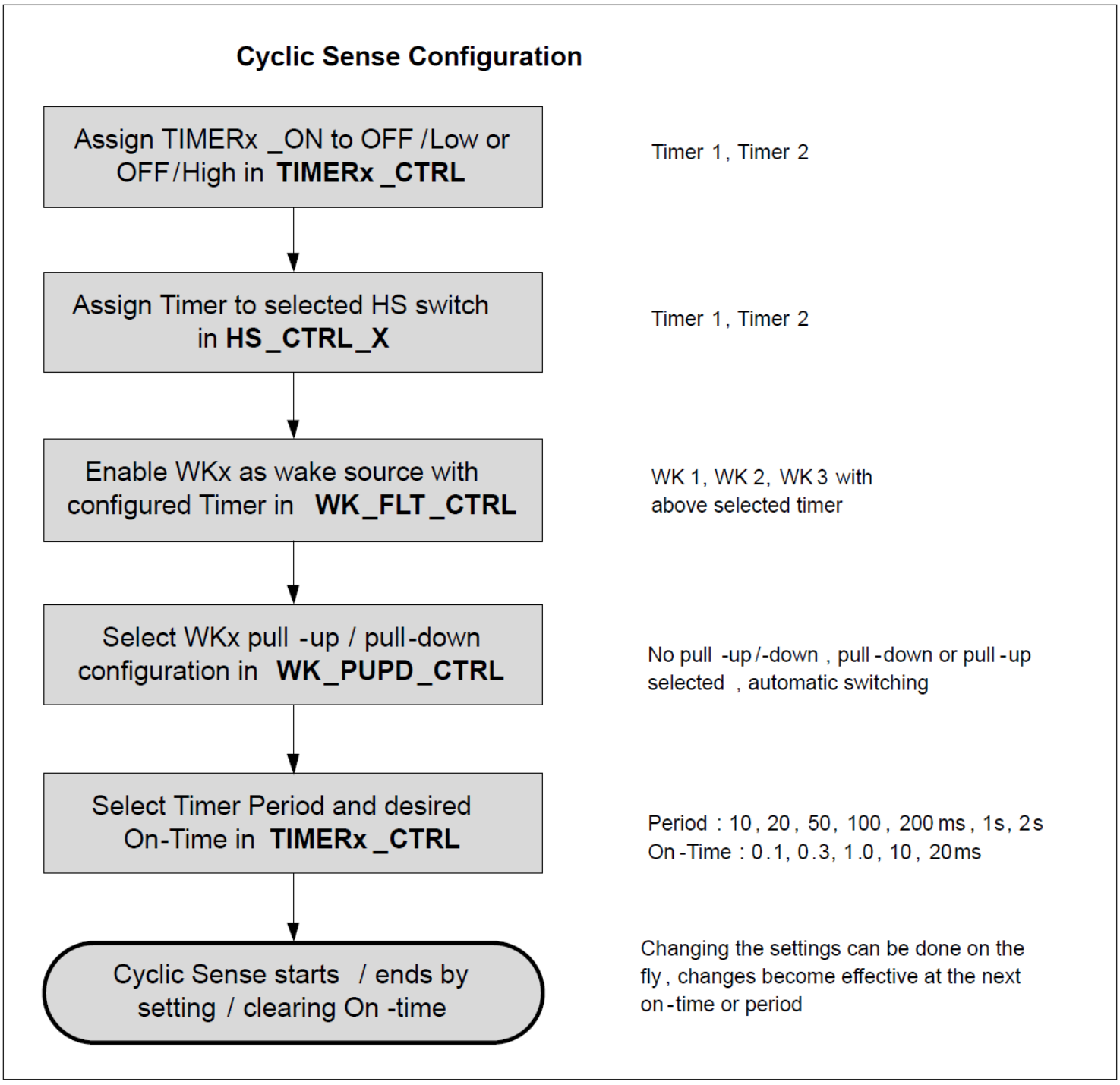


图 6　　循环检测：配置和时序

注释： *周期和导通时间均可选择。但建议循环检测的导通时间为0.1 ms、0.3 ms 和1 ms。如果导通时间超过周期，则SPI_FAIL 将被置位。*

WK 输入值（高电平或低电平）的第一个采样被用作下一个周期的基准。在第二个周期的导通时间内，如果检测到 WK 输入值在第一个周期和第二个周期之间发生变化，则 SBC 会将其从休眠模式唤醒，或者在正常或停止模式下产生中断。

16 µs的滤波时间，避免由于瞬变或*EMC*干扰而引起的唤醒。滤波时间 t_{FWK1} 在选择的导通时间结束时被触发，并在满足以下条件时识别为唤醒信号：

- 在选定的滤波时间内，输入电平不会超过典型的 3V 开关阈值电平（即信号保持高电平或低电平）且
- 与前一个周期之间存在输入电平变化

循环检测引起的唤醒事件也会置位相应 WK1_WU，WK2_WU，WK3_WU位。

在循环感知期间，寄存器 WK_LVL_STAT 仅使用 WKx 引脚的采样电压电平进行更新，在SBC 正常模式或 SBC 停止模式。

采样功能和不同场景如图 7 到图 9 所示。停止模式和休眠模式下的行为相同，不同之处在于，在正常模式和停止模式下，INTN 会被触发以发出 WKx 输入电平变化的信号，而在休眠模式下，VCC1 会上电。无论 WKx_WU 位是否已置位，都会触发唤醒事件。

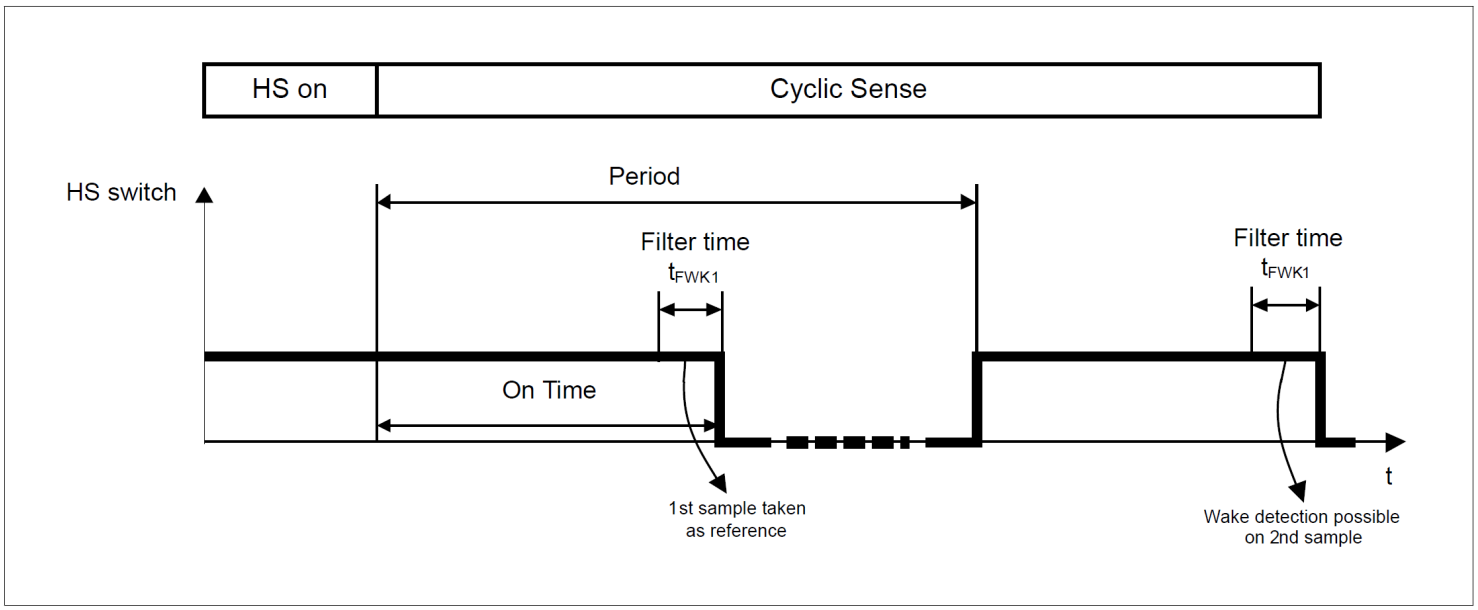


图 7　　唤醒输入时序

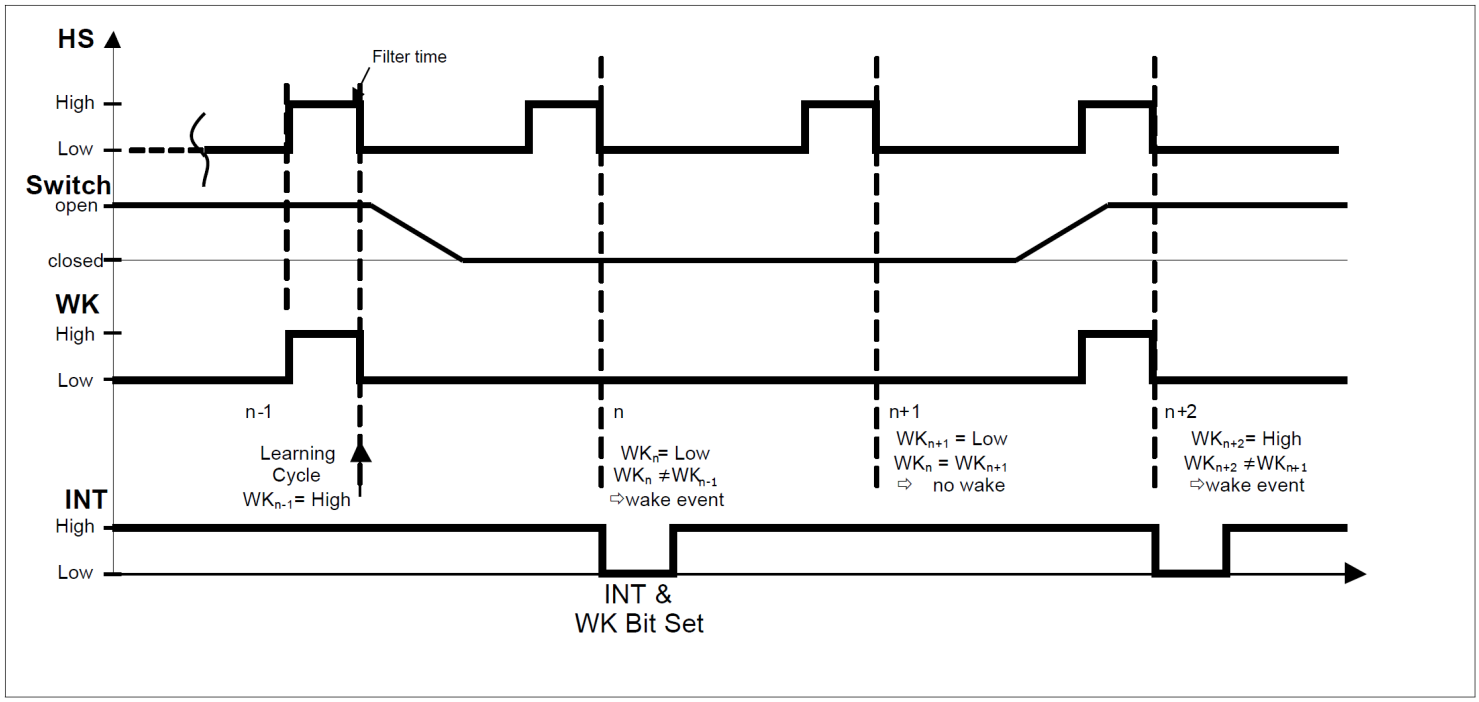


图 8　　SBC停止模式下的循环检测示例，HSx 起始为“OFF”/低电平，基于 GND的 WKx 输入

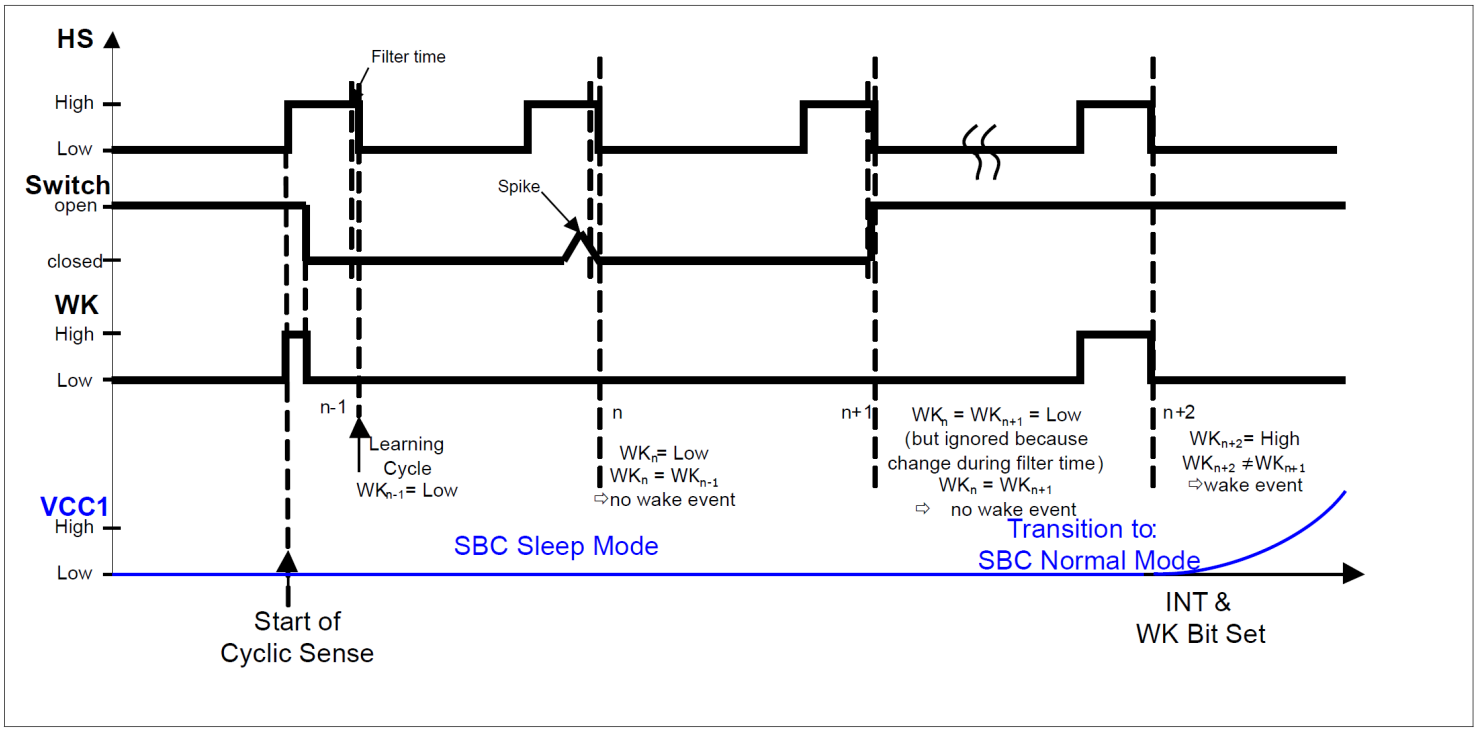


图 9　　SBC休眠模式下的循环检测示例，HSx 起始为 “OFF”/高电平，基于 GND 的 WKx 输入

在下列情况下，循环检测功能将不再正常工作：

- 在进入SBC故障安全模式的情况下：相应的HS开关将被禁用，相应的唤醒引脚将更改为静态检测
- 在SBC正常、停止或休眠模式下，如果发生过流、过温、欠压或过压（如果选择）事件：相应的 HS 开关将被禁用

注释： *如果由于上述故障导致HS 开关关闭，循环检测的内部定时器不会自动禁用。必须考虑这一点，以避免唤醒事件的干扰。*

4.2.1.2　　低功耗模式下的循环检测

如果计划在*SBC* 停止或SBC 休眠模式中进行循环检测，在进入低功耗模式之前，需要在SBC正常模式下激活循环检测。由于循环检测而产生的唤醒事件将置位相应位WK1_WU、WK2_WU或WK3_WU。在停止模式下，唤醒事件将触发中断；在休眠模式下，唤醒事件将通过重启模式将器件发送到正常模式。返回SBC休眠模式前，唤醒状态寄存器 WK_STAT_1 和寄存器 WK_STAT_2 需要清除唤醒标志。如果尝试在唤醒标志（例如 WKx_WU）未清除的情况下进入SBC休眠模式，SBC将通过重启模式直接从休眠模式唤醒到正常模式，并发出一个复位信号。WKx_WU 位被视为唤醒源。这样做是为了避免在转换过程中丢失唤醒事件。

4.2.2　　循环唤醒

循环检测的特点是可以减少静态电流。

对于循环唤醒，一个或两个定时器被配置为内部唤醒源，并在*SBC* 正常模式和SBC 停止模式下循环地触发中断。

配置循环唤醒的正确时序如循环唤醒所示。时序如下：

- 首先，禁用定时器，以确保在激活循环唤醒时不会发生意外中断

- 使用 Timer1 和/或 Timer2 作唤醒源，配置寄存器 WK_CTRL_1
- 配置相应周期的定时器 1 /定时器 2。此外，必须选择一个导通时间（任意值）来启动循环唤醒，即使该值被忽略也是如此

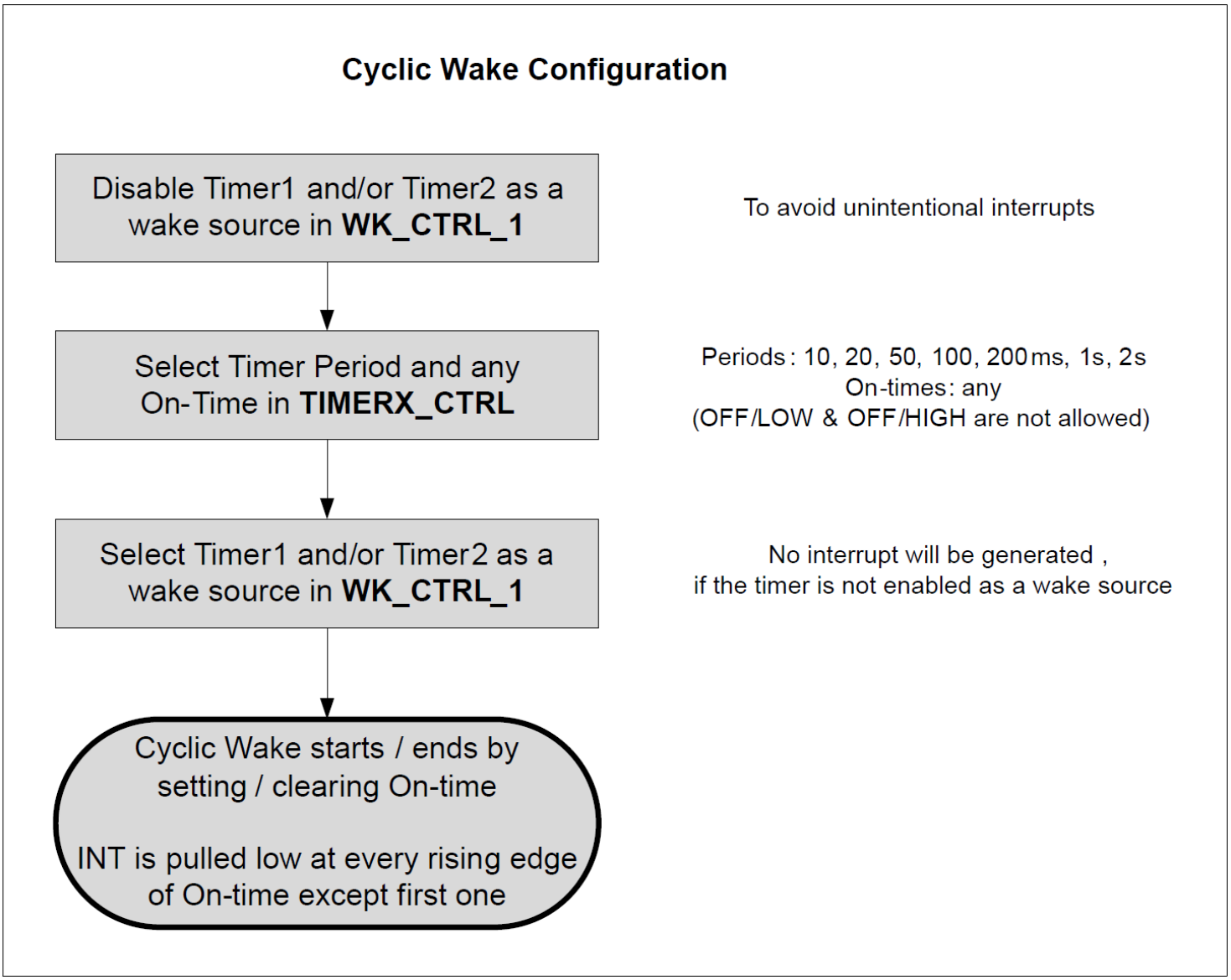


图 10　　循环唤醒：配置和时序

与循环唤醒功能一样，循环唤醒功能将在配置导通时间后立即启动。除第一次启动定时器外，每次启动定时器都会产生中断。

4.2.3　内部定时器

集成的定时器1和定时器2通常用于循环地唤醒微控制器（循环唤醒）或对唤醒输入进行循环检测。因此，可以通过*SPI*将这些定时器映射到专用的HS开关（通过寄存器 HS_CTRL1…2）。
下面的周期和导通时间可以通过寄存器 TIMER1_CTRL 和 寄存器 TIMER2_CTRL 分别进行选择：

- 周期：10 ms/20 ms/50 ms/100 ms/200 ms/1 s/2 s
- 导通时间：0.1 ms/0.3 ms/1.0 ms/10 ms/20 ms/OFF at HIGH or LOW

4.3 监督特性

该器件提供多种监督特性，以满足功能安全要求。请参阅“监控功能”部分，了解更多信息。

5 CAN PN

5.1 CAN PN – 选择性唤醒功能

CAN PN可在正常模式、休眠模式和停止模式下激活。对于休眠模式，必须在将器件发送至休眠模式之前激活CAN PN。对于停止模式，在进入停止模式之前必须激活CAN PN。

有两种检测机制可供选择

- *WUP*：这是一种 CAN 唤醒，它是对两个CAN显性信号的时间做出反应。定义于ISO 11898-2:2016
- WUF： 这是对CAN帧的唤醒，与通过*SPI*在器件中配置的编译消息相匹配。

默认波特率为 500 kBaud。除了常用的 125 kBaud 和 250 kBaud 波特率外，还可以选择最高 1 MBaud 的其他波特率（参见选择性唤醒控制寄存器以及选择性唤醒微调与校准控制寄存器以了解更多详情）。

5.2 SBC PN 功能

CAN PN 模式如下图所示。

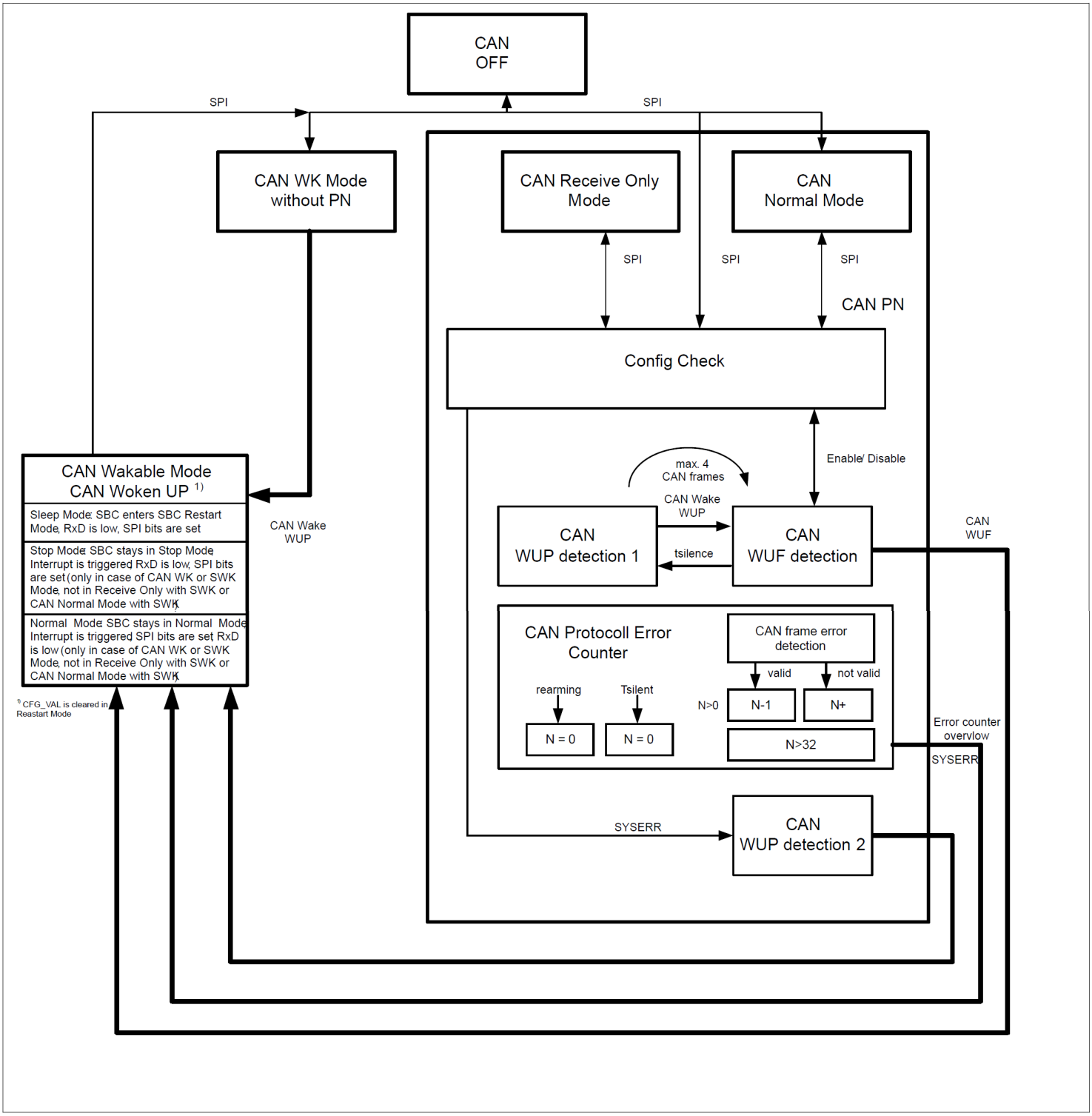


图 11 CAN 选择性唤醒状态图

5.2.1 SWK激活

下图显示了SWK激活的原理。

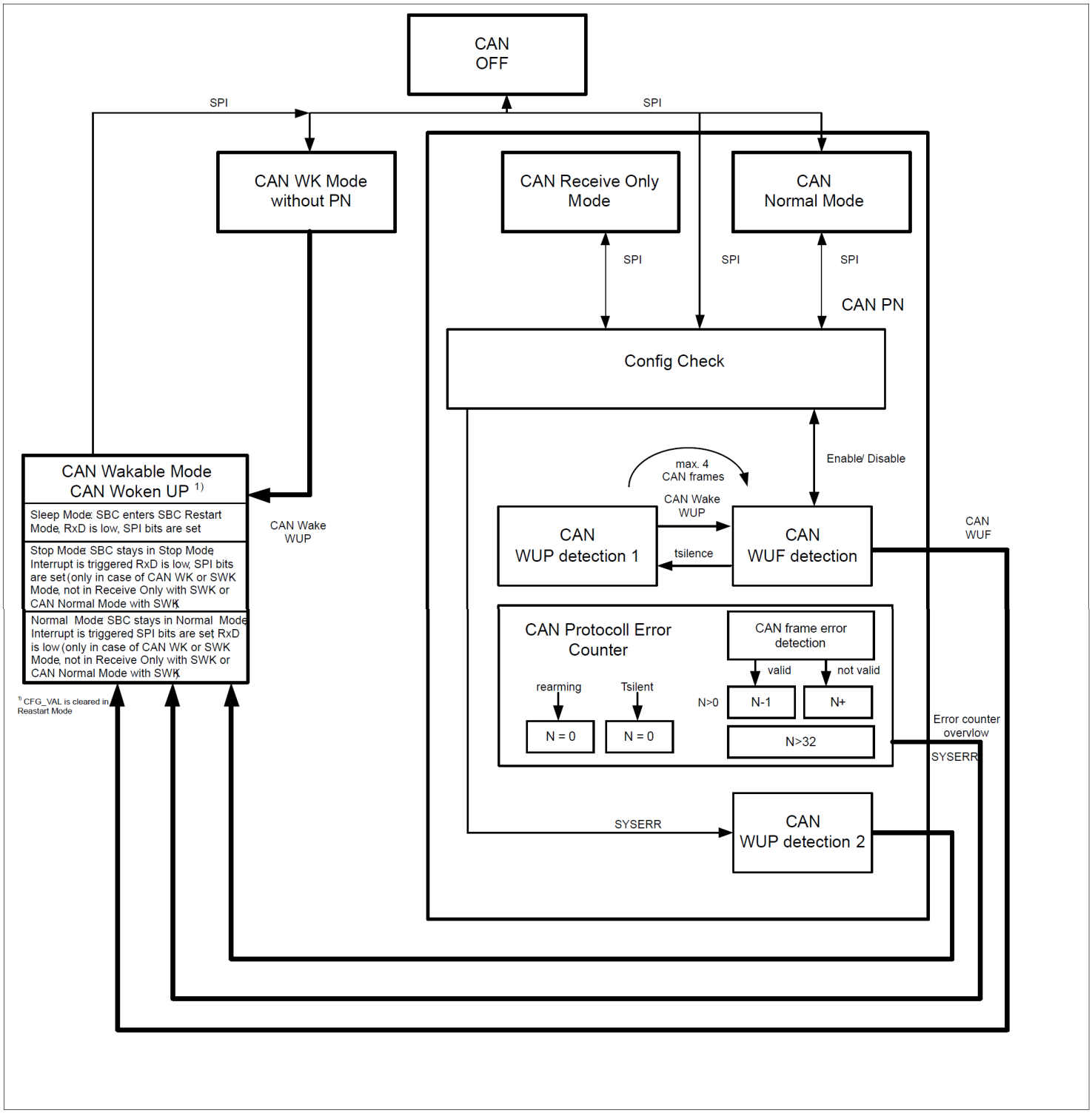


图 12 SWK激活流程

5.2.2 唤醒模式（WUP）

一个*WUP*由两个连续的显性总线电平在至少tWake1内被隐性总线电平分隔开。

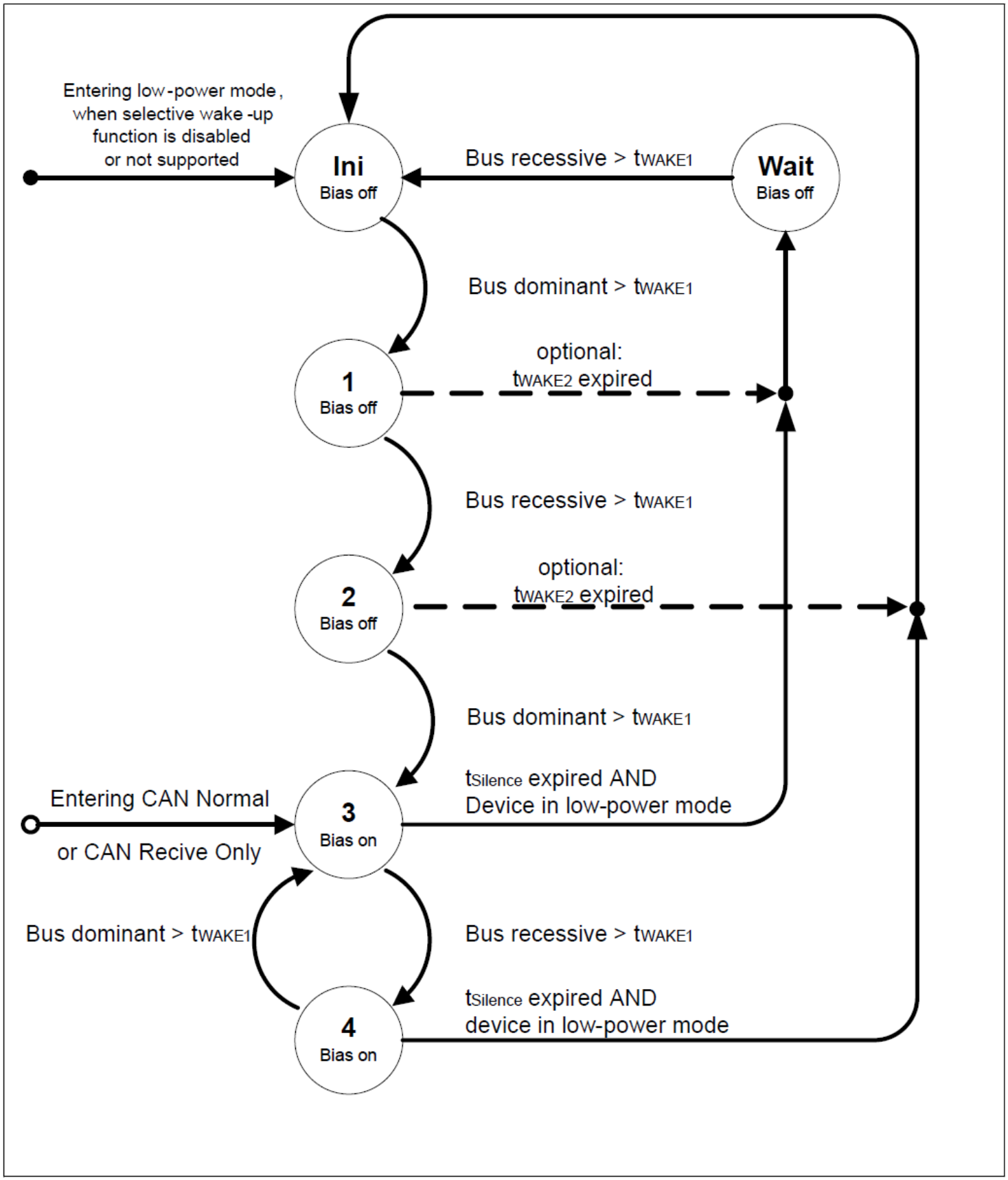


图 13　　根据 ISO 11898-2:2016 中的定义进行 WUP 检测

5.2.3 唤醒帧（WUF）

唤醒帧的检测按照ISO 11898-2:2016 标准定义实现。

只有符合ISO11989-1 的*CAN*帧才被视为唤醒帧。
如果选择性唤醒功能已启用并且已收到“有效唤醒帧”，则应执行唤醒唤醒。收发器可能会忽略打开偏置后开始的最多四个连续的 CAN 数据帧。

如果满足以下所有条件，则接收到的帧为 "有效唤醒帧"：

- 接收到的帧的 ID 与配置的 ID 在相关位位置上完全匹配。相关位位置由 ID 掩码给出。ID 和 ID 掩码可能有 11 位或 29 位
- *数据长度代码（DLC）*接收到的帧与配置的DLC完全匹配
- 如果DLC大于 0，则接收到的帧的数据字段在某个位中至少有一个位，其中在相应位的配置数据掩码中该位也是位
- 根据ISO 11898-1 标准，除 ACK 字段和 EOF 字段中指示的错误外，不应存在其他错误

5.2.4 CAN协议错误计数器

当检测到位填充、*循环冗余校验（CRC）*或根据 ISO11898-1 的形式错误时，计数器会递增。如果已接收直到 CRC 字段末尾有效的帧，并且计数不为零，则计数将递减。

如果计数器达到 31，则在计数器下一次递增时执行以下操作：

- 选择性唤醒功能禁用
- *CAN* 收发器唤醒
- SYSERR 置位，可读取错误计数值 = 32

在计数的每个递增或递减上，解码器单元在将显性位视为新的帧开始之前等待至少6个和最多10个隐性位。

错误计数器启用：

- 每当CAN处于正常模式、仅接收模式或 WUF 检测状态时，错误计数器在以下情

况下会被清除：

- 从 WUF 检测过渡到 *WUP* 检测 1 时（在tSILENCE过期之后，而选择性唤醒是正确启用的）
- 当进入WUF检测状态时（这样选择性唤醒启用时计数器就会从0开始）。
- 在 *SBC* 或 CAN 重新就绪时（退出唤醒状态时）
- 当CAN模式位选择为‘000’、‘100’（CAN关闭）或 0’01’（无需启用选择性唤醒功能即可唤醒）时
- 当 CAN_FD_EN = '1' 且 DIS_ERR_CNT = '1' 时（当这两个位在*SPI*寄存器中被置位时，计数器被清除并保持清除状态）

错误计数器被冻结：

- 唤醒后处于清醒状态

可以从 ECNT 位中读取计数器值。

5.3 诊断标志

5.3.1 PWRON/RESET标志

上电复位可读取SBC状态寄存器中的POR位进行检测。

VS 上电将*SBC*中的所有寄存器复位为复位值。未配置选择性唤醒。

5.3.2 BUSERR 标志

总线显性超时检测由寄存器BUS_STAT_1中的CAN_Fail_x记录。

5.3.3 TXD 显性超时标志

TXD 显性超时显示在寄存器 BUS_STAT_1中的 *SPI* 位 CAN_FAIL_x 中记录。

5.3.4 WUP 标志

寄存器SWK_STAT中的*WUP*位显示WUP唤醒导致了*CAN*收发器唤醒。它还可以指示在有效 WUP 之后，内部模式从 WUP 检测 1 状态更改为 WUF 检测。

在下列情况下，位为置位：

- 选择性唤醒被激活：由于tSILENCE，CAN变为 WUP 检测状态 1。如果在此状态下检测到WUP，则WUP位会置位
- 选择性唤醒已停用：WUP如果WUP唤醒CAN则位为置位。此外，CAN_WU位是置位
- 如果在WUP检测2状态期间（SYSERR 之后）检测到 WUP，则WUP和CAN_WU会置位

WUP位在CAN收发器下次就绪(rearming)时被*SBC*自动清除。

***注释**:* *如果 WUF 导致从休眠模式中唤醒，则 WUF 和*WUP *位可能同时置位。原因是在*CAN *在选择性唤醒模式下，CAN 处于*WUP *检测1 状态（由于*tSILENCE*）。另见*SBC PN功能*。*

5.3.5 WUF 标志 (WUF)

WUF位在寄存器 SWK_STAT 中，表示唤醒帧 (WUF) 引起了*CAN*唤醒。在休眠模式下，这个会引起过渡到重启模式。在正常模式或者停止模式下，它会引起中断。有如果CAN_WU 位在寄存器 WK_STAT_1中被置位。

WUF 位在CAN收发器下次就绪(rearming)时被自动清除。

5.3.6 SYSERR 标志（SYSERR）

SYSERR位在配置错误时置位，又或者错误计数器溢出。仅当选择性唤醒的CAN模式通过 CAN_x 启用时，该位才会更新（置位为“1”）。如果*CAN* SWK通过CAN_x启用。如果INT_GLOBAL被置位，则每次SYSERR 置位时都会在 INTN 上触发中断。

当通过 CAN_x 编程选择性唤醒时，SYSERR = '0' 表示 SWK 功能已启用。该位可以通过 *SPI* 清除。*SBC*上电复位后该位为“0”。

5.3.7 配置错误

配置错误会将 SYSERR 位设置为“1”。通过 CAN_x 位启用选择性唤醒时，会执行配置检查。如果检查成功，则选择性唤醒启用后，SYSERR 位将设置为“0”。在正常模式下，也可以在选择性唤醒启用时检测到配置错误。如

果CFG_VAL被清除，例如通过更改SWK 寄存器（从地址 010 0001 到地址 011 0011）。在停止模式和休眠模式下这是不可能的，因为 SWK 寄存器无法更改。

配置检查：

在重启模式下， CFG_VAL位被器件清除。如果重启模式不是由 WUF 从休眠模式唤醒触发的，并且CAN是选择性唤醒启用的，则SYSERR位会被置位。SYSERR需要控制器进行清除。

当 CAN_2 为“1”且出现以下情况时，SYSERR 位无法清除：

- 数据有效位不是由控制器设置，即 CFG_VAL 不置位为“1”。 CFG_VAL 选择性唤醒后为被复位，再次激活选择性唤醒前需要通过控制器设置。
- CFG_VAL 位会被器件复位，如果当通过*SPI*更改数据时（仅在正常模式下可用）

注释: *如果仅寄存器SWK_CTRL 被修改，SWK的配置仍然有效。*

5.3.8 CAN总线超时标志 (CANTO)

在*CAN* WUF 检测和CAN *WUP* 检测 2 状态下，如果时间 $t_{SILENCE}$超时，CANTO位被置位为“1” 。它可以由控制器来清除。如果 CANTO 的中断功能是启用的，则当 CANTO 置位为“1”时，在停止模式或正常模式下会生成中断。中断是通过设置CANTO_MASK位为‘1’。即使 CANTO 位没有被清除，每个 CANTO 事件都也会触发中断，即使CANTO位没有被清除。

CAN 超时不会引起休眠唤醒。

5.3.9 CAN总线沉默标志 (CANSIL)

在*CAN* WUF 检测和CAN *WUP* 检测 2 状态下，如果时间 $t_{SILENCE}$到期，CANSIL 位将置位为“1”。CANSIL 的位可通过 WUP 复位回“0”。微控制器可以通过此位监测CAN总线在CAN SWK模式下是否有活动。该位可在停止模式和正常模式下读取。

5.3.10 SYNC标志（SYNC）

位 SYNC 表明 SWK 正在工作并且与 *CAN* 总线同步。要让SYNC位置位，需要启用CAN到CAN正常模式或CAN仅接收模式或WUF检测。不是必须启用CAN SWK 模式。

位被置"1"，如果有效的CAN 报文被接收（无*CRC* 错误，且没有填充错误）。它会被置"0"，如果CAN 协议错误被检测。当切换至SWK模式，SYNC位指示控制器的帧检测功能工作，然后下一个 CAN 帧会被检测为WUF，CAN 唤醒可以被*SBC*处理。不能够进入 SBC 低功耗模式带着SWK功能，即使该位没有置位。

5.3.11 SWK_SET标志（SWK_SET）

SWK_SET置位，用于指示以下状态（另见SBC PN）：

- 当 SWK 正确启用时，处于 WUF 检测状态
- 当 SWK 在 *WUP* 检测 1 状态中正确启用时
- 在WUP检测状态 2 唤醒事件发生之前出现 SYSERR 错误。

在以下情况下，该位将被清除：

- 唤醒后（ECNT 溢出， WUP 位于WUP 检测 2，WUF 位于 WUF 检测）
- 如果 CAN_2 已清除

5.4 选择性唤醒 (SWK) 的 SBC 模式

*SBC*模式选择通过MODE 位，正如状态机的模块描述所述。

*CAN*收发器的模式需要在正常模式中修改。CAN模式在CAN_0, CAN_1 和 CAN_2位中配置。在低功耗模式，即停止、休眠模式下，CAN模式不能通过SPI修改。

包含 CAN选择性唤醒功能的详细 SBC 状态机示意图如图 3 所示。应用现在必须区分正常的 CAN 运行模式与选择性唤醒功能：

- WK模式：这是正常的CAN 唤醒模式，但不具备选择性唤醒功能
- SWK模式：这是支持CAN唤醒并启用选择性唤醒功能的模式

图14 显示可能的CAN收发器模式。

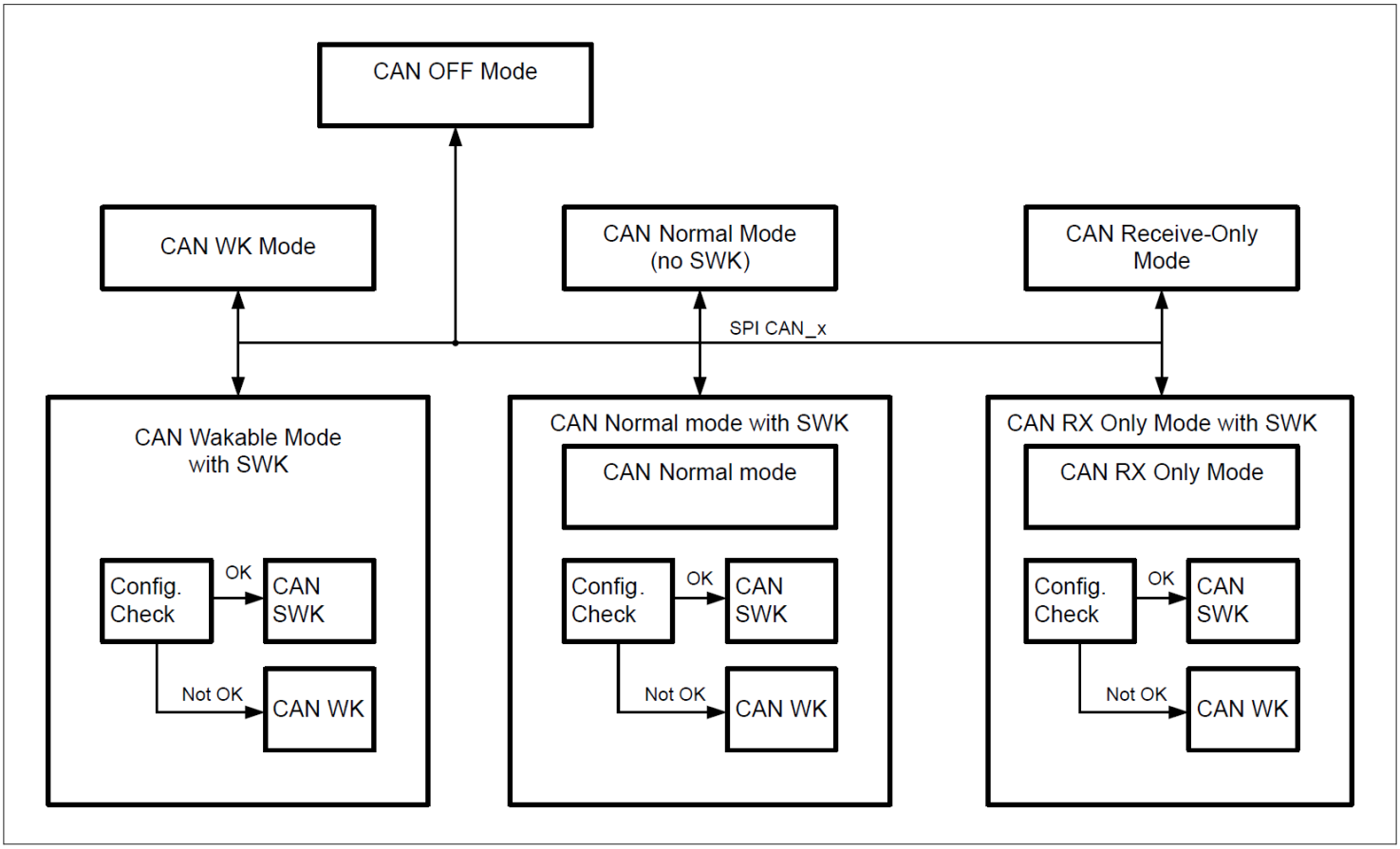


图 14 CAN SWK 状态图

5.4.1 SBC 正常模式（带 SWK）

在*SBC*正常模式中*CAN* 收发器可以切换到以下 CAN 模式

- CAN OFF
- CAN WK模式（不含SWK）
- CAN SWK模式
- CAN 仅接收（未激活SWK）
- CAN 仅接收模式（带SWK）
- CAN 正常模式（未激活SWK）
- CAN 正常模式（带SWK）

在启用SWK的CAN正常模式下， CAN收发器的工作方式与SBC正常模式相同，总线数据通过RXD接收，数据通过TXD发送并输送到总线。此外，SWK功能块也被激活，用于监控CAN总线上的数据。 更新错误计数器并在总线上无通信活动时置位CANSIL标志。

如果检测到 WUF的话，它将生成一个CAN唤醒中断（在此配置中，RXD 不会被拉低）。

在CAN仅接收模式下（带SWK），CAN 数据可以在 RXD 上接收且 SWK 处于激活状态，但不能向总线发送任何数据。

位SYSERR ='0'表示SWK功能启用，且未检测到帧错误计数器溢出。

表 9　　SBC 正常模式下通过 SPI 选择的 CAN 模式

CAN Mode	CAN_2	CAN_1	CAN_0
CAN OFF	0	0	0
CAN WK Mode (no SWK)	0	0	1
CAN Receive Only (no SWK)	0	1	0
CAN Normal Mode (no SWK)	0	1	1
CAN OFF	1	0	0
CAN SWK Mode	1	0	1
CAN Receive Only with SWK	1	1	0
CAN Normal Mode with SWK	1	1	1

在正常模式下可以读取CAN_x位。为了读到争取的CAN模式，SYSERR，SWK_SET和CAN都需要被评估。从正常模式离开可能会改变CAN_0和CAN_1位。

5.4.2　　SBC 停止模式（带 SWK）

在*SBC*停止模式 *CAN*收发器可与以下CAN模式配合使用

- CAN OFF
- CAN WK Mode (no SWK)
- CAN SWK Mode
- CAN Receive Only (no SWK)
- CAN Receive Only with SWK
- CAN Normal Mode (no SWK)
- CAN Normal Mode with SWK

为使能CAN SWK 模式，必须在SBC正常模式下，先将 CAN 切换到“CAN 正常模式（带SWK）”，“ CAN 仅接收模式（带SWK）”或“ CAN SWK 模式” 在让SBC进入到SBC 停止模式之前。SYSERR = '0' 表示 SWK 功能已启用。表格显示了CAN模式的变化。 从SBC正常模式切换到SBC停止模式。

注释　　CAN *仅接收模式在*SBC *停止模式中使用，也是为了实现模拟网络。*

表 10 CAN 模式在从 SBC 正常模式切换到 SBC 停止模式时发生变化

Programmed CAN Mode in SBC Normal Mode	CAN_x bits	SYSERR bit	CAN Mode in SBC Stop Mode	CAN_x bits
CAN OFF	000	0	CAN OFF	000
CAN WK Mode (no SWK)	001	0	CAN WK Mode (no SWK)	001
CAN Receive Only (no SWK)	010	0	CAN Receive Only (no SWK)	010
CAN Normal Mode (no SWK)	011	0	CAN WK Mode (no SWK)	011
CAN OFF	100	0	CAN OFF	100
CAN SWK Mode	101	0	CAN SWK Mode	101
CAN SWK Mode	101	1	CAN WK Mode (no SWK)	101
CAN Receive Only with SWK	110	0	CAN Receive Only with SWK	110
CAN Receive Only with SWK	110	1	CAN Receive Only (no SWK)	110
CAN Normal Mode with SWK	111	0	CAN Normal Mode with SWK	111
CAN Normal Mode with SWK	111	1	CAN Normal Mode (no SWK)	111

注释： *当SYSERR 为置位时，将不会检测到WUF 帧，即未激活选择性唤醒功能（无SWK），但寄存器中*CAN 模式的*最高有效位 (MSB)*没有改变。

5.4.3 SBC 休眠模式（带 SWK）

在*SBC*休眠模式*CAN*收发器可以切换到以下CAN模式

- CAN OFF
- CAN WK模式（不含SWK）
- CAN SWK模式

要启用“CAN SWK模式”，在器件进入SBC休眠模式之前，必须切换到CAN正常模式（带SWK）”、 “CAN仅接收模式（带SWK）”或SBC正常模式下的“CAN SWK模式”。下表显示了从SBC正常模式切换到休眠模式时CAN模式的变化。

从休眠模式唤醒（使用选择性唤醒，即有效的唤醒帧）会导致系统进入重启模式。在重启模式下，SBC 会清除 CFG_VAL 位，SBC的SYSERR不置位。在寄存器 CAN_x 可以读取CAN SWK模式（101）。

要再次启用CAN SWK 模式并进入SBC休眠模式，可以使用以下序列；将CAN模式配置为不同于CAN SWK 模式 (101, 110, 111)，设置 CFG_VAL、CLEAR SYSERR 位，将 CAN_x 位设置为CAN SWK 模式 (101)，切换SBC 至休眠模式。

要在CAN唤醒后再次启用CAN WK 模式或CAN SWK 模式，CAN 收发器需要重新具备唤醒功能。重新激活是通过对CAN进行配置来实现的。使用 CAN_x 位切换到另一种模式，然后再切换回CAN WK 模式或CAN SWK模式。为避免CAN 收发器已被唤醒的情况下将 SBC切换至休眠模式时出现死机现象，SBC在进入休眠模式时就绪。因此，切换到休眠模式后，CAN收发器要么处于CAN SWK 模式，要么处于CAN WK 模式取决于 CAN_x 设置和 SYSERR 位（如果CAN 切换到关闭模式（在休眠模式下也处于关闭状态）。

表 11 切换到 SBC 休眠模式时 CAN 模式的变化

Programmed CAN Mode in SBC Normal Mode	CAN_x bits	SYSERR bit	CAN Mode in SBC Sleep Mode	CAN_x bits
CAN OFF	000	0	CAN OFF	000
CAN WK Mode (no SWK)	001	0	CAN WK Mode (no SWK)	001
CAN Receive Only (no SWK)	010	0	CAN WK Mode (no SWK)	001
CAN Normal Mode (no SWK)	011	0	CAN WK Mode (no SWK)	001
CAN OFF	100	0	CAN OFF	100
CAN SWK Mode	101	0	CAN SWK Mode	101
CAN SWK Mode	101	1	CAN WK Mode (no SWK)	101
CAN Receive Only with SWK	110	0	CAN SWK Mode	101
CAN Receive Only with SWK	110	1	CAN WK Mode (no SWK)	101
CAN Normal Mode with SWK	111	0	CAN SWK Mode	101
CAN Normal Mode with SWK	111	1	CAN WK Mode (no SWK)	101

5.4.4 SBC 重启模式 （带SWK）

如果*SBC* 进入重启模式，收发器可以更改*CAN* 模式。重启期间或重启后，可能出现以下几种模式。

- CAN OFF
- CAN WK模式（可唤醒或已唤醒）
- CAN SWK模式（WUF唤醒）

表 12 从 SBC 正常模式重启时 CAN 模式的变化

Programmed CAN Mode in SBC Normal Mode	CAN_x bits	SYSERR bit	CAN Mode in and after SBC Restart Mode	CAN_x bits	SYSERR bit
CAN OFF	000	0	CAN OFF	000	0
CAN WK Mode (no SWK)	001	0	CAN WK Mode (no SWK)	001	0
CAN Receive Only (no SWK)	010	0	CAN WK Mode (no SWK)	001	0
CAN Normal Mode (no SWK)	011	0	CAN WK Mode (no SWK)	001	0
CAN OFF	100	0	CAN OFF	100	0
CAN SWK Mode	101	0	CAN WK Mode (no SWK)	101	1
CAN SWK Mode	101	1	CAN WK Mode (no SWK)	101	1
CAN Receive Only with SWK	110	0	CAN WK Mode (no SWK)	101	1
CAN Receive Only with SWK	110	1	CAN WK Mode (no SWK)	101	1
CAN Normal Mode with SWK	111	0	CAN WK Mode (no SWK)	101	1
CAN Normal Mode with SWK	111	1	CAN WK Mode (no SWK)	101	1

进入 SBC 重启模式的各种原因及相应的状态标志设置如表13所示。

表 13 从 SBC 休眠模式重启时 CAN 模式的变化

CAN Mode in SBC Sleep Mode	CAN Mode in and after SBC Restart Mode	CAN_x	SYSERR	CAN_WU	*WUP*	WUF	ECNT_x	Reason for Restart
CAN OFF	CAN OFF	000	0	0	0	0	0	Wake on other wake source
CAN WK Mode	CAN woken up	001	0	1	1	0	0	Wake WUP on CAN
CAN WK Mode	CAN WK Mode	001	0	0	0	0	0	Wake on other wake source
CAN SWK Mode	CAN woken up	101	0	1	0/1 [1)]	1	x	Wake (WUF) on CAN
CAN SWK Mode,	CAN woken up	101	1	1	0/1 [2)]	0	100000	Wake due to error counter overflow
CAN SWK selected, CAN WK active	CAN woken up.	101	1	1	1	0	0	Wake WUP on CAN, config check was not pass
CAN SWK Mode	CAN WK Mode	101	1	0	0/1	0	x	Wake on other wake source

1) 如果在tSILENCE中检测到 WUF，那么WUP位就不会置位。否则，它将始终与 WUF 位一起置位。

2) 在某些情况下， 即使在 tSILENCE 之后， WUP 位也可能保持清除状态 ，例如，当错误计数器到期而未检测到唤醒模式时。

5.4.5 SBC故障安全模式（带SWK）

当*SBC*进入故障安全模式，*CAN*收发器自动置于 WK 模式（可唤醒），无选择性唤醒功能。

5.5 唤醒

*CAN*总线唤醒引起*SBC*从休眠模式或停止模式到重启模式；SBC 若SBC在正常模式则产生中断。唤醒事件发生后，CAN_WU 位被置位，唤醒详情可以从 *WUP*、WUF、SYSERR 和 ECNT 位读取。

5.6 SWK 的配置

*CAN*协议处理设置可在以下寄存器中配置：

- 寄存器SWK_BTL1_CTRL 定义比特时间内的时间量子数。该数还取决于在寄存器 SWK_CDR_CTRL2中执行的内部时钟设置。
- 寄存器 SWK_BTL2_CTRL 定义采样点位置
- 在帧检测模式下，可以通过位RX_WK_SEL选择相应的接收器。
- 时钟和数据恢复（另请参阅时钟和数据恢复）可通过寄存器SWK_CDR_CTRL1 、寄存器SWK_CDR_CTRL2 、寄存器SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL 和寄存器SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL进行配置

选择性唤醒的实际配置是通过选择性唤醒控制寄存器 SWK_IDx_CTRL、SWK_MASK_IDx_CTRL、SWK_DLC_CTRL、SWK_DATAx_CTRL 完成的。

振荡器可以选择由微控制器进行调整。要测量振荡器，*SPI* 位 OSC_CAL 需要设置为 1，并且微控制器需要为

TXDCAN 引脚提供一个定义的脉冲（例如，1 µs脉冲，在此之前必须将CAN关闭）。*SBC* 通过使用集成振荡器计数时间来测量脉冲的长度。计数器值可以从寄存器 SWK_OSC_CAL_H_STATE 和 SWK_OSC_CAL_L_STATE 中读取。要更改振荡器，需要通过设置位 TRIM_EN_x = 11（且 OSC_CAL = 1）来启用振荡器功能。然后可以通过写入寄存器 SWK_OSC_TRIM_CTRL 和寄存器SWK_OPT_CTRL来调整振荡器。要完成调节，需要将 TRIM_EN_x 位设置回“00”。

5.7 CAN FD 容错模式

可以通过设置 CAN_FD_EN 位来激活*CAN* FD容错模式。寄存器 SWK_CAN_FD_CTRL 中的值为 '1'。在此模式下，将停止对CAN FD格式的CAN报文解码：

- CANFD帧中的高波特率部分将被忽略，
- 无错误处理（位填充， *CRC* 检查，格式错误）将应用于剩余的CAN帧字段（数据字段， CRC字段，...），
- 不可以通过CANFD帧进行唤醒。

内部的CAN报文解码器会在检测到CAN FD报文的EOF时为新的CAN报文准备就绪。CAN FD报文的定义基于FDF位，它在CAN FD报文中的控制区：

- FDF 位 = 1 表示当前帧为CAN FD帧，将停止对其进行进一步解码。
- FDF 位 = 0 标识当前帧为CAN 2.0 帧，处理将继续进行。

.

通过这种方式，我们可以传输混合 CAN 帧格式，同时不会影响选择性唤醒功能，避免因错误计数器递增引发后续的误唤醒。除了CAN_FD_EN控制位之外，还必须为 CAN FD 容错模式配置对应的滤波设置。该滤波设置定义了 CAN FD 显性位的最小显性时长，只有满足该时长的信号，才会被 CAN FD 帧解码器判定为显性位。该参数值必须与 CAN 网络中数据段所选用的高速波特率相匹配。

支持通过CAN在CAN FD模式期间，通过配置*SPI*位DIS_ERR_CNT 避免错误计数器的溢出（另请参阅CAN 协议错误计数器）。

错误计数器的行为取决于DIS_ERR_CNT 和CAN_FD_EN的配置，如下表所示：

表 14 错误计数器行为

DIS_ERR_CNT setting	CAN_FD_EN setting	Error Counter Behavior
0	0	Error Counter counts up when a CAN FD frame or an incorrect/ corrupted CAN frame is received; counts down when a CAN frame is received properly (as specified in ISO 11898-2:2016)
1	0	Error Counter counts up when a CAN FD frame or an incorrect/ corrupted CAN frame is received; counts down when a CAN frame is received properly (as specified in ISO 11898-2:2016)
0	1	Error Counter counts down when correct CAN (incl. CAN FD) frame is received
1	1	Error Counter is and stays cleared to avoid an overflow during programming via CAN

DIS_ERR_CNT 位会在 Tsilence (tSILENCE) 到期时自动清除。

5.8 时钟和数据恢复

为了补偿因装配和使用寿命影响而导致的 *CAN* 振荡器频率可能出现的偏差，该器件具有集成的时钟和数据恢复（CDR）功能。

建议在SWK期间始终使用CDR特性。

5.8.1 为 SWK 配置时钟数据恢复功能

时钟与数据恢复功能可通过CDR_EN 位进行选择性启用或禁用。如果该功能已启用，则将测量 *CAN* 位流将被测量，并相应地更新用于CAN 帧解码的内部时钟。在使用时钟与数据恢复功能前，必须根据所用波特率和滤波特性进行正确配置（参见时钟与数据恢复设置）。

强烈建议不要在激活的CAN 通信期间启用/禁用时钟恢复。

为了确保这一点，建议在CAN OFF期间启用/禁用它（寄存器 BUS_CTRL_1； CAN [2:0] = 000）。

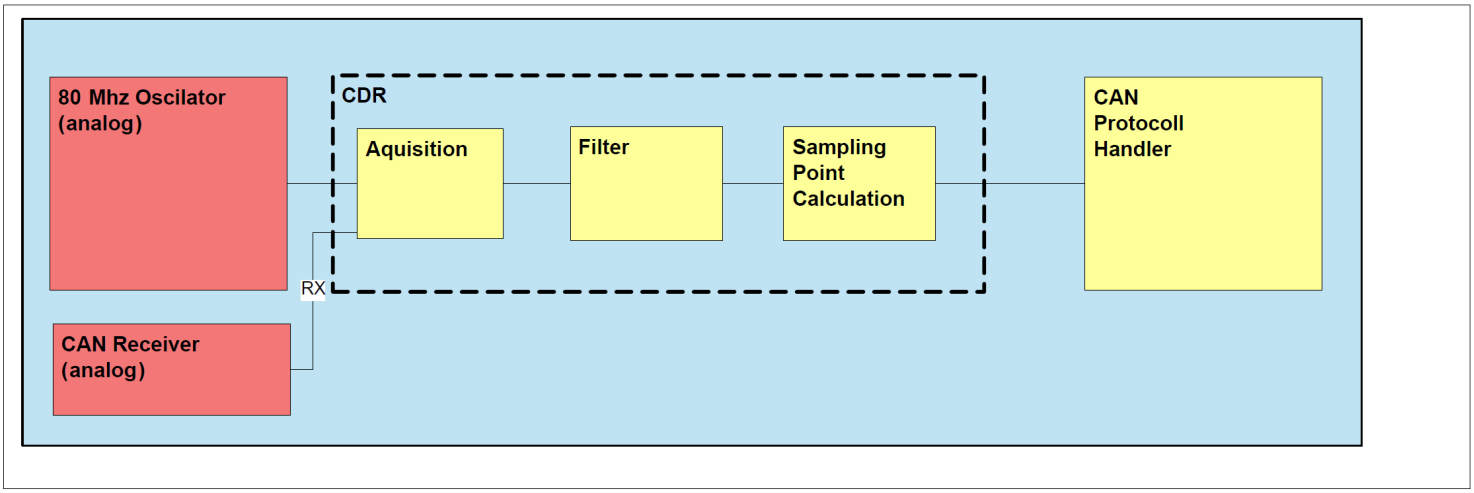


图 15 时钟和数据恢复框图

5.8.2 时钟设置和数据恢复

强烈建议仅在完成时钟和数据恢复的设置后才启用时钟和数据恢复功能。

启用时钟和数据恢复功能应按以下步骤操作：

- 第1步：*CAN* 设置为 OFF 并且CDR_EN OFF

  写入*SPI* 寄存器 BUS_CTRL_1 CAN [2:0] = 000
- 步骤 2：配置 CDR 输入时钟频率

  写入SPI 寄存器 SWK_CDR_CTRL2 (SEL_OSC_CLK[1:0])
- 步骤3：配置位定时逻辑

  写入SPI 寄存器SWK_BTL1_CTRL 并调整寄存器SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL 和寄存器 SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL （根据表 38）
- 第 4 步：使能时钟和数据恢复

  选择时钟和数据恢复的滤波器设置。写入SPI 寄存器SWK_CDR_CTRL1 的CDR_EN = 1

关于 CDR 配置和操作的补充提示：

- 即使 CDR 被禁用，当波特率改变时， SEL_OSC_CLK的设置在寄存器 SWK_CDR_CTRL1 和寄存器 SWK_BTL1_CTRL 必须相应地进行更新
- 寄存器SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL和寄存器 SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL 当波特率或时钟频率更改时，也必须进行更新（如果达到限制，CDR 将丢弃所有采集并丢失所有采集的信息 - 寄存器SWK_BTL1_CTRL 的值已重新加载，作为下次的起点）
- 更新 CDR 寄存器时，建议先禁用 CDR，待新设置更新完成后再重新启用
- 寄存器SWK_BTL2_CTRL 表示采样点位置。建议使用默认值：11 0011 (~80%)

5.9 电气特性

表 15 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < VCAN < 5.25 V；RL = 60 Ω； *CAN* 正常模式；所有电压相对于接地，正向电流流入引脚

（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
CAN Partial Networking Timing							
Timeout for bus inactivity	$t_{SILENCE}$	0.6	–	1.2	s	1)	P_5.4.1
Bias reaction time	t_{bias}	–	–	200	µs	1) Load R_L = 60 Ω, C_L = 100 pF, C_{GND} = 100 p	P_5.4.2
Wake-up reaction time *WUP* or WUF	$t_{WU_WUP/WUF}$	–	–	100	µs	1) 2) 3) Wake-up reaction time after a valid WUP or WUF	P_5.4.3
Min. Bit Time	t_{Bit_min}	1	–	–	µs	1) 4)	P_5.4.4
CAN FD Tolerance 5)							
SOF acceptance	n_{Bits_idle}	6	–	10	bits	6) Number of recessive bits before a new SOF shall be accepted	P_5.4.5
Dominant signals which are ignored (up to 2 MBit/s)	$t_{FD_Glitch_4}$	0	–	5	%	6) 7) of arbitration bit time; to be configured via FD_FIL TER	P_5.4.6
Dominant signals which are ignored (up to 5 MBit/s)	$t_{FD_Glitch_10}$	0	–	2.5	%	6) 8) of arbitration bit time; to be configured via FD_FIL TER	P_5.4.7
Signals which are detected as a dominant data bit after the FDF bit and before EOF bit (up to 2 MBit/s)	$t_{FD_DOM_4}$	17.5	–	–	%	6) 7) of arbitration bit time; to be configured via FD_FIL TER	P_5.4.8
Signals which are detected as a dominant data bit after the FDF bit and before EOF bit (up to 5 MBit/s)	$t_{FD_DOM_10}$	8.75	–	–	%	6) 8) of arbitration bit time; to be configured via FD_FIL TER	P_5.4.9

1) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
2) 在 *SBC* 停止模式下通过 INT 引脚激活来发出唤醒信号，在 SBC 休眠模式下通过 VCC1 电压上升来唤醒并发出唤醒信号。
3) WUP：时间从 WUP 的最后一个显性相位结束时开始；WUF：时间从 WUF 的 *CRC* 定界符结束时开始。
4) 最小位时间对应于最大位速率 1 Mbit/s。位速率的下限取决于协议*IC* 或永久显性检测电路防止永久显性钳位。
5) 适用于仲裁速率最高为 500 kbps 的情况，直到检测到 FDF 位并发出RX_WK_SEL = 0。
6) 未经过生产测试，由设计指定。
7) 数据位速率小于或等于仲裁位速率的四倍或 2 Mbit/s，以较低者为准。
8) 数据位速率小于或等于仲裁位速率的十倍或 5 Mbit/s，以较低者为准。

6 稳压器 1

6.1 模块描述

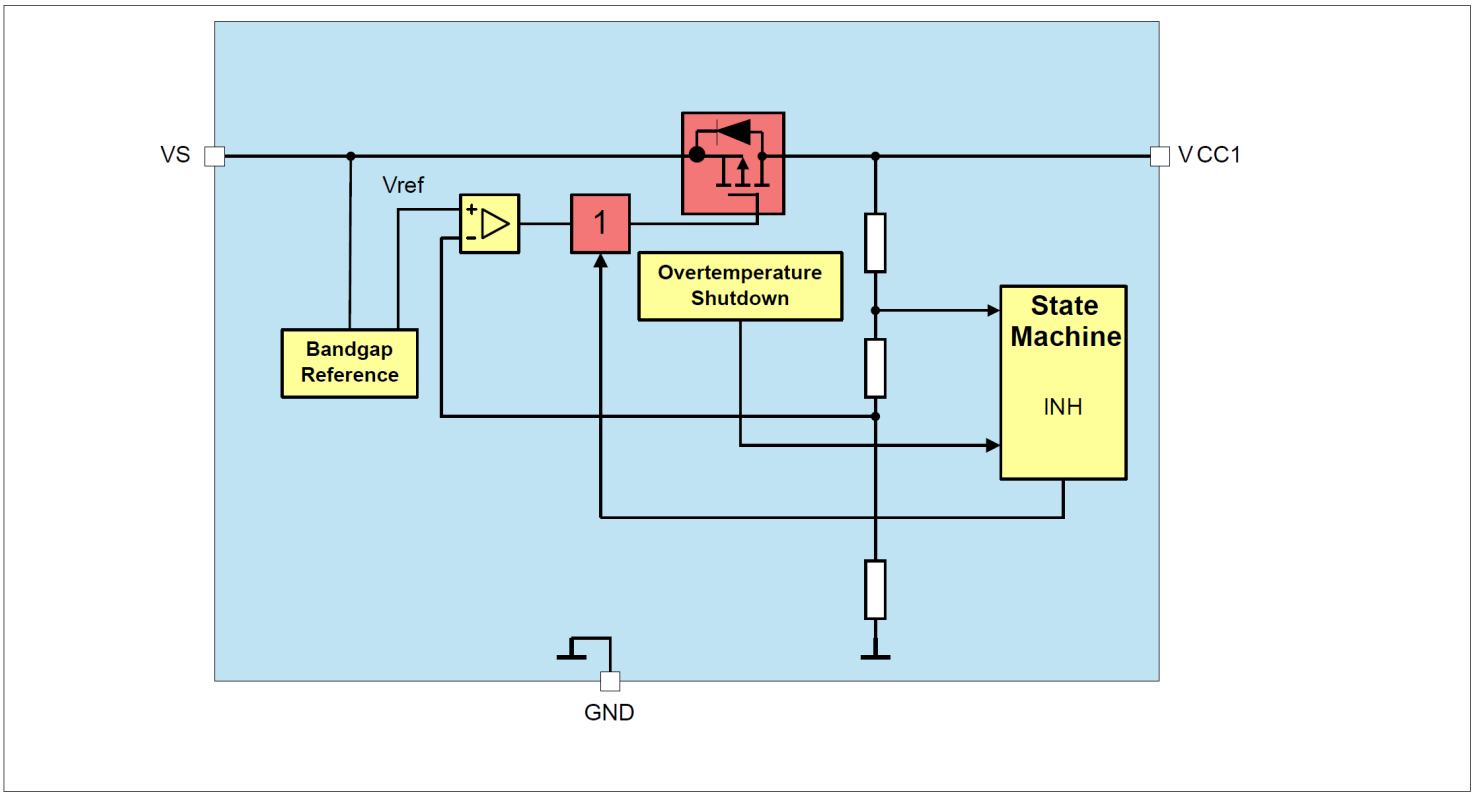


图 16 模块框图

功能特性

- 5 V 低压差稳压器
- 具有可调复位电平的欠压监测、VCC1 预警和 VCC1 短路检测功能（复位输出描述, VPW,f ）。请参阅VCC1过压/欠压和欠压预警 和VCC1 短路和 VCC3 诊断，以了解更多信息
- 短路检测和关断与欠压失败阈值，器件进入*SBC* 故障安全模式
- ≥ 470 nF 陶瓷电容器在电压输出时稳定，其*等效串联电阻 （ESR）* < 1 Ω @ *f* = 10 kHz，基于安全相位裕度实现稳压器控制环路稳定性（波特图）
- 输出电流能力高达IVCC1,lim

6.2 功能描述

稳压器 1（=VCC1）在 *SBC* 正常模式和 SBC 停止模式下处于 “开启” 状态，在 SBC 休眠模式和 SBC 故障安全模式下被禁用。该稳压器能够提供高达 IVCC1,lim 的输出电流。

由于低静态电流的原因，输出电压公差在SBC停止模式下会降低，因为只有精度较低的低功耗模式调节器（VCC1,out41）才会针对小负载被激活。如果 VCC1 上的负载电流超过选定的阈值（IVCC1,Ipeak1,r 或 IVCC1,Ipeak2,r），则高功率模式调节器也将被激活以支持最佳的动态负载行为。电流损耗将增加约2.9毫安。如果 VCC1 上的负载电流低于所选阈值（IVCC1,Ipeak1,f 或IVCC1,Ipeak2,f），然后通过禁用高功率模式调节器再次恢复低静态电流模式。稳压器（低功耗模式和高功率模式）在SBC正常模式下均被激活。

两个不同的活动峰值阈值可以通过*SPI*选择：

- I_PEAK_TH = ‘0’（默认值）：在 SBC 停止模式下，选择较低的 VCC1 活动峰值阈值 1，此时静态电流消耗最低（IStop_1,25、IStop_1,85）
- I_PEAK_TH = ‘1’：在 SBC 停止模式下，选择较高的 VCC1 活动峰值阈值 2，此时静态电流消耗增加（IStop_2,25，IStop_2,85）

6.3 电气特性

表 16 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C ; 所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output Voltage including line and Load regulation	$V_{CC1,out1}$	4.9	5.0	5.1	V	1) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC1} < 250 mA 6 V < V_S < 28 V	P_6.3.1
Output Voltage including line and Load regulation	$V_{CC1,out2}$	4.9	5.0	5.1	V	1) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC1} < 150 mA	P_6.3.7
Output Voltage including line and Load regulation	$V_{CC1,out3}$	4.97	–	5.07	V	1) 2) SBC Normal Mode; 20 mA < I_{VCC1} < 90 mA 8 V < V_S < 18 V 25°C < T_j < 125°C	P_6.3.12
Output Voltage including line and Load regulation	$V_{CC1,out41}$	4.9	5.05	5.2	V	SBC Stop Mode; 1mA < I_{VCC1} < $I_{VCC1,Ipeak}$	P_6.3.2
Output Voltage including line and Load regulation	$V_{CC1,out42}$	4.9	5.05	5.25	V	SBC Stop Mode; 10 µA < I_{VCC1} < 1 mA	P_6.3.20
Output Drop	$V_{CC1,d2}$	–	–	500	mV	I_{VCC1} = 150 mA V_S = 5 V	P_6.3.4
VCC1 Active Peak Threshold 1 (Transition threshold between low-power and high-power mode regulator)	$I_{VCC1,Ipeak1,r}$	–	2.9	5.5	mA	2) I_{CC1} rising; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C; I_PEAK_TH = '0'	P_6.3.13
VCC1 Active Peak Threshold 1 (Transition threshold between high-power and low-power mode regulator)	$I_{VCC1,Ipeak1,f}$	0.5	2.2	–	mA	2) I_{CC1} falling; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C; I_PEAK_TH = '0'	P_6.3.17
VCC1 Active Peak Threshold 2 (Transition threshold between low-power and high-power mode regulator)	$I_{VCC1,Ipeak2,r}$	–	5.5	9.0	mA	2) I_{CC1} rising; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C; I_PEAK_TH = '1'	P_6.3.18
VCC1 Active Peak Threshold 2 (Transition threshold between high-power and low-power mode regulator)	$I_{VCC1,Ipeak2,f}$	1.7	4.5	–	mA	2) I_{CC1} falling; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C; I_PEAK_TH = '1'	P_6.3.19
Overcurrent Limitation	$I_{VCC1,lim}$	250	–	1200 2)	mA	Current flowing out of pin, V_{CC1} = 0 V	P_6.3.6

1) 在 SBC 停止模式下，当 I_{VCC1} 超过选定的活动峰值阈值（I_{VCC1},Ipeak1,r 或 $I_{VCC1,Ipeak2,r}$）时，适用规定的输出电压容差，但电流消耗会增加（5V 版本）。

2) 未经过生产测试，由设计指定。

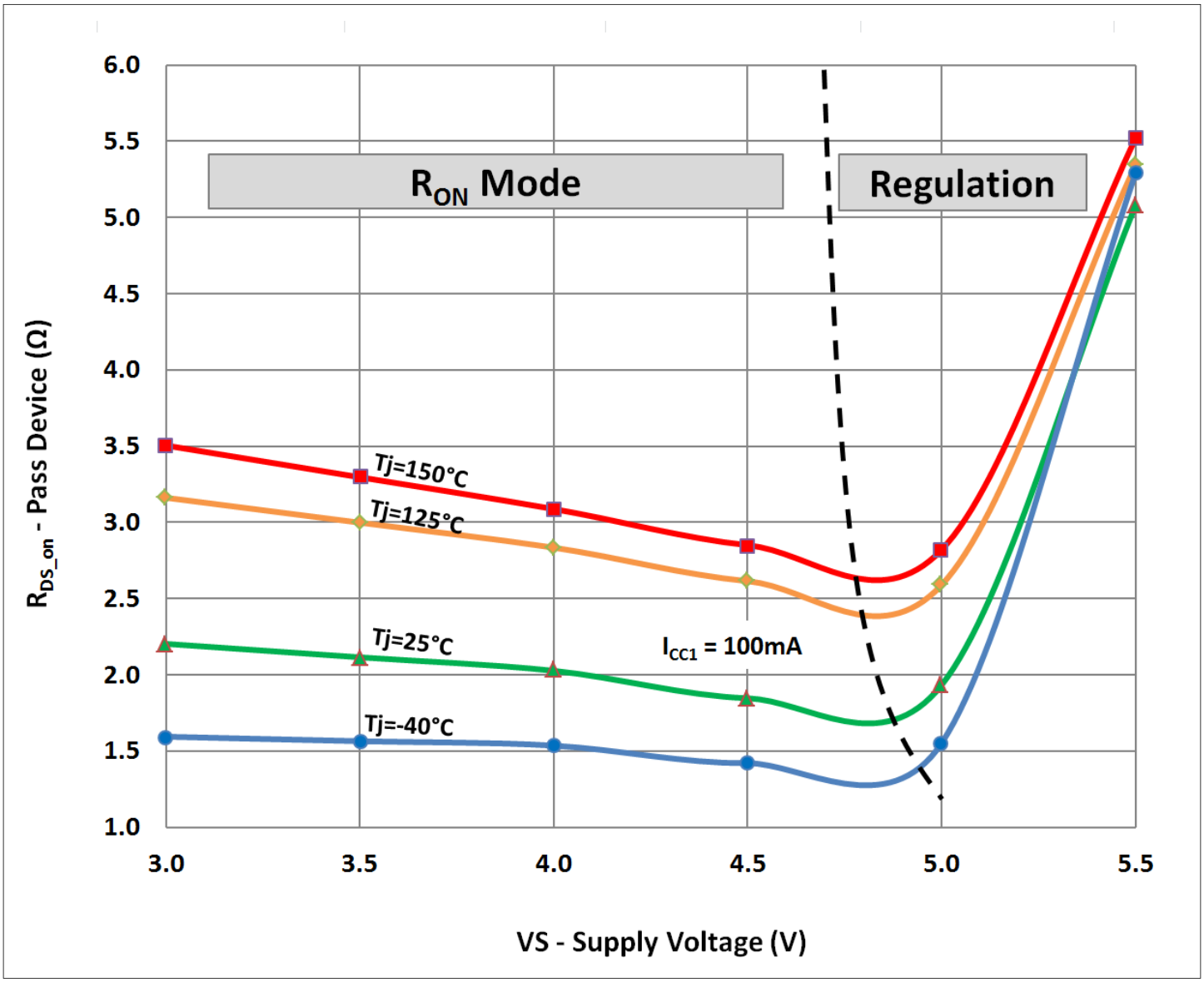


图17 I_{CC1} = 100 mA 时，低压差工作状态下 VCC1 的导通电阻典型值

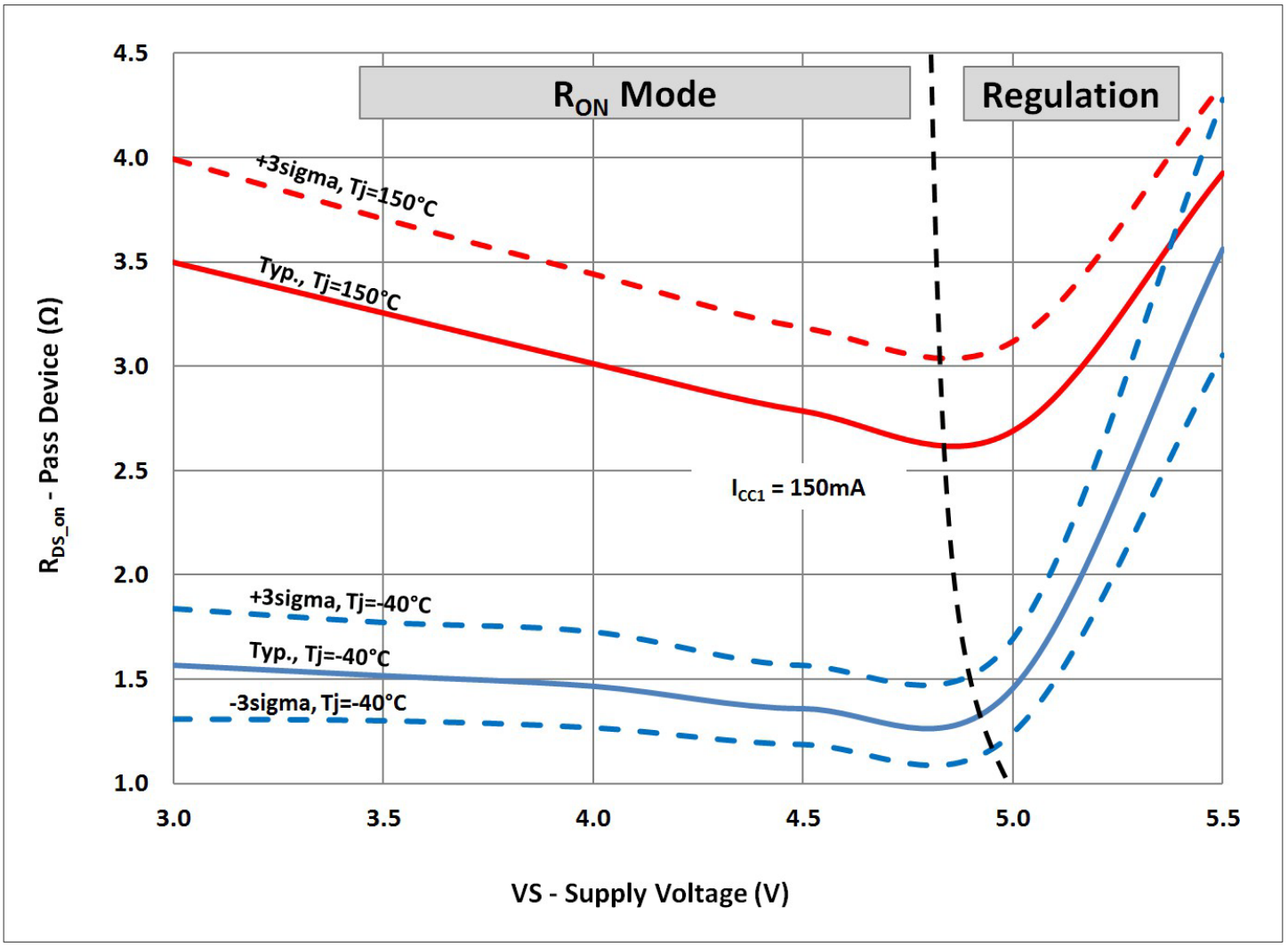


图18 I_{CC1} = 150 mA 时，低压差工作状态下 VCC1 的导通电阻范围

7 稳压器 2

7.1 模块描述

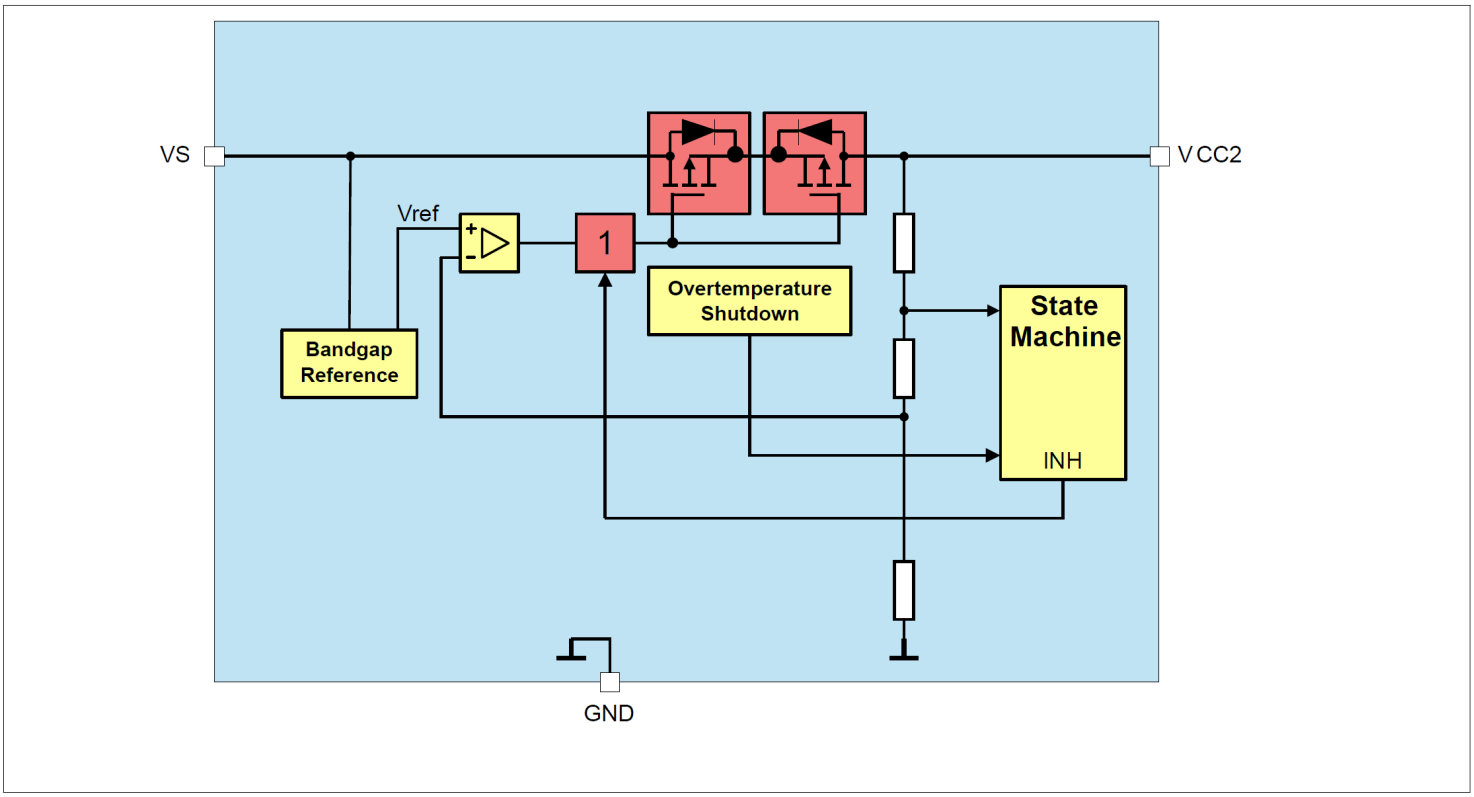


图 19 模块框图

功能特性

- 5 V 低压差稳压器
- 具有防止对电池电压短路的保护功能，例如，用于外部传感器供电
- 也可用于*CAN* 供电
- VCC2欠压监测。请参考VCC2 欠压 和 VCAN 欠压，以了解更多信息
- 可在 *SBC* 正常模式、SBC 停止模式以及 SBC 休眠模式下处于激活状态（不适用于 SBC 故障安全模式）
- 进入 SBC 重启模式后，VCC2 关闭。关闭状态会被锁定，在关机后必须通过 *SPI* 使能低压差线性稳压器（*LDO*）
- 过温保护
- ≥ 470 nF 陶瓷电容，稳定输出电压，*ESR* < 1 Ω @ f = 10 kHz，实现基于安全相位裕度的稳压器控制环路稳定性（波特图）
- 输出电流能力高达IVCC2,lim

7.2 功能描述

在 *SBC* 正常模式下，VCC2 可以通过*SPI* 打开或关闭。

对于SBC停止或休眠模式，必须在进入相应的SBC模式之前打开或关闭 VCC2。调节器可提供高达IVCC2,lim 的输出电流。

由于低静态电流的原因，SBC 停止模式下的输出电压公差会降低， 因为只有精度较低的低功耗模式调节器 (VCC2,out5) 才会针对小负载被激活。如果 VCC2 上的负载电流超过 I_{VCC2} > IVCC2,Ipeak,r，那么高功率模式调节器也将被启用以支持最佳的动态负载行为。电流损耗将增加约 2.9毫安。如果 VCC2 上的负载电流低于阈值 (I_{VCC2} < IVCC2,Ipeak,f)，则通过禁用高功率模式调节器再次恢复低静态电流模式。两个稳压器在SBC 正常模式下均被激活。

注释： *如果VCC2 输出电压为外部板外负载供电，则应用必须考虑由电缆电感和负载上的去耦电容器构建的串联共振电路。必须提供足够的阻尼。*

7.2.1 对电池短路保护

输出级具有对 *电池短路保护功能（VBAT）* 。

7.3 电气特性

表 17 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C ; 所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output Voltage including line and Load regulation *SBC* Normal Mode	$V_{CC2,out1}$	4.9	5.0	5.1	V	1) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC2} < 100 mA 6.5 V < V_S < 28 V	P_7.3.1
Output Voltage including line and Load regulation SBC Normal Mode	$V_{CC2,out2}$	4.9	5.0	5.1	V	1) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC2} < 80 mA 6 V < V_S < 28 V	P_7.3.16
Output Voltage including line and Load regulation SBC Normal Mode	$V_{CC2,out3}$	4.9	5.0	5.1	V	1) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC2} < 40 mA	P_7.3.2
Output Voltage including line and Load regulation SBC Normal Mode	$V_{CC2,out4}$	4.97	–	5.07	V	2) SBC Normal Mode; 10 µA < I_{VCC2} < 5 mA 8 V < V_S < 18 V 25°C < T_j < 125°C	P_7.3.14
Output Voltage including line and Load regulation SBC Stop/Sleep Mode	$V_{CC2,out5}$	4.9	5.05	5.2	V	Stop, Sleep Mode; 1 mA < I_{VCC2} < $I_{VCC2,Ipeak}$	P_7.3.3
Output Voltage including line and Load regulation SBC Stop/Sleep Mode	$V_{CC2,out6}$	4.9	5.05	5.25	V	Stop, Sleep Mode; 10 µA < I_{VCC2} < 1 mA	P_7.3.18
Output Drop	$V_{CC2,d1}$	–	–	500	mV	I_{VCC2} = 30 mA V_S = 5 V	P_7.3.4
VCC2 Active Peak Threshold (Transition threshold between low-power and high-power mode regulator)	$I_{VCC2,Ipeak,r}$	–	2.9	5.5	mA	2) I_{CC2} rising; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C	P_7.3.15
VCC2 Active Peak Threshold (Transition threshold between high-power and low-power mode regulator)	$I_{VCC2,Ipeak,f}$	0.5	2.4	–	mA	2) I_{CC2} falling; V_S = 13.5 V -40°C < T_j < 150°C	P_7.3.17
Overcurrent limitation	$I_{VCC2,lim}$	100	–	750 2)	mA	Current flowing out of pin, V_{CC2} = 0 V	P_7.3.5

1) 在 SBC 停止模式下，当 I_{VCC2} 超过选定的活动峰值阈值（$I_{VCC2,Ipeak,r}$）时，适用规定的输出电压容差，但电流消耗会增加。
2) 未经过生产测试，由设计指定。

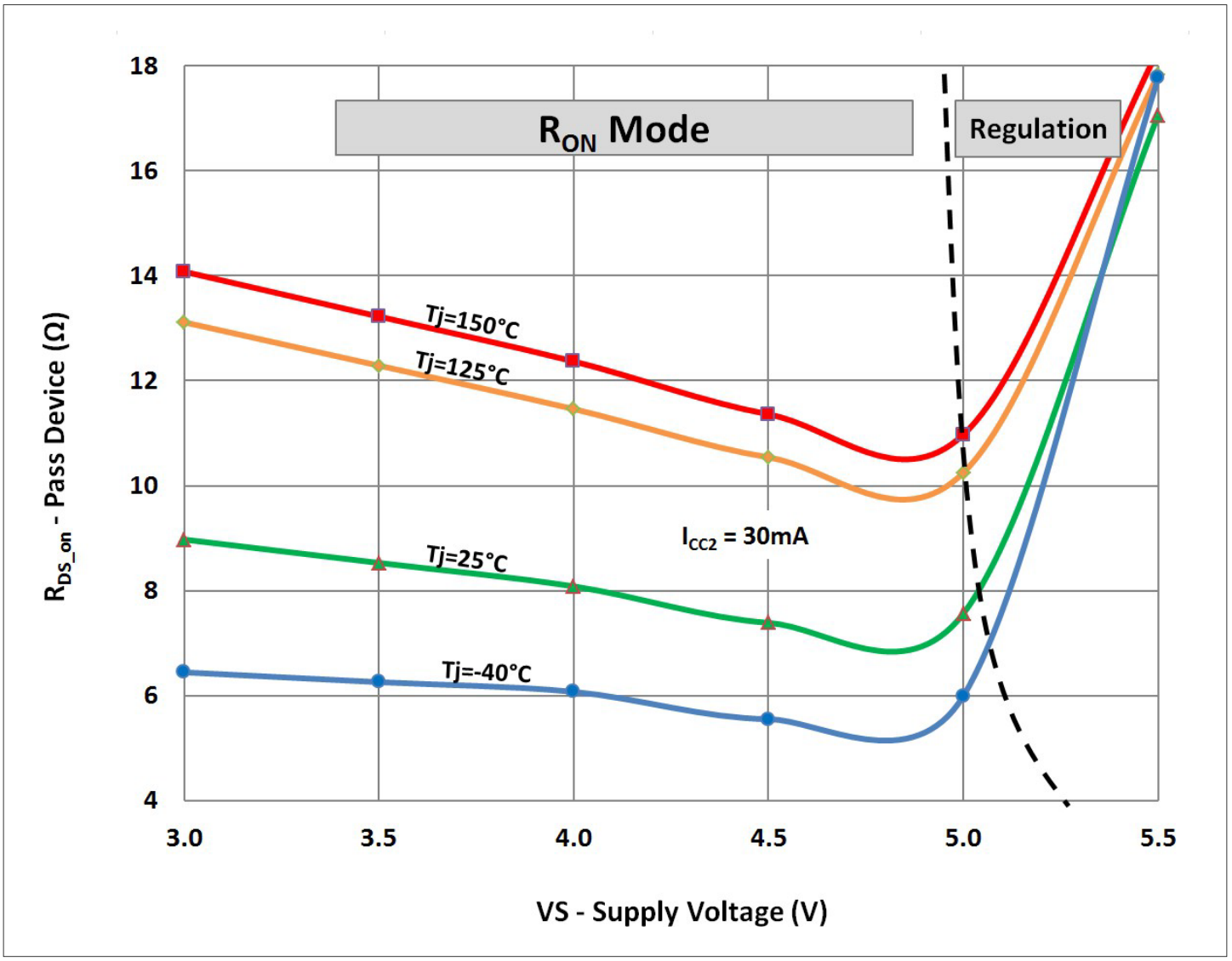


图20 I_{CC2} = 30 mA 时，低压差工作状态下 VCC2 的导通电阻典型值

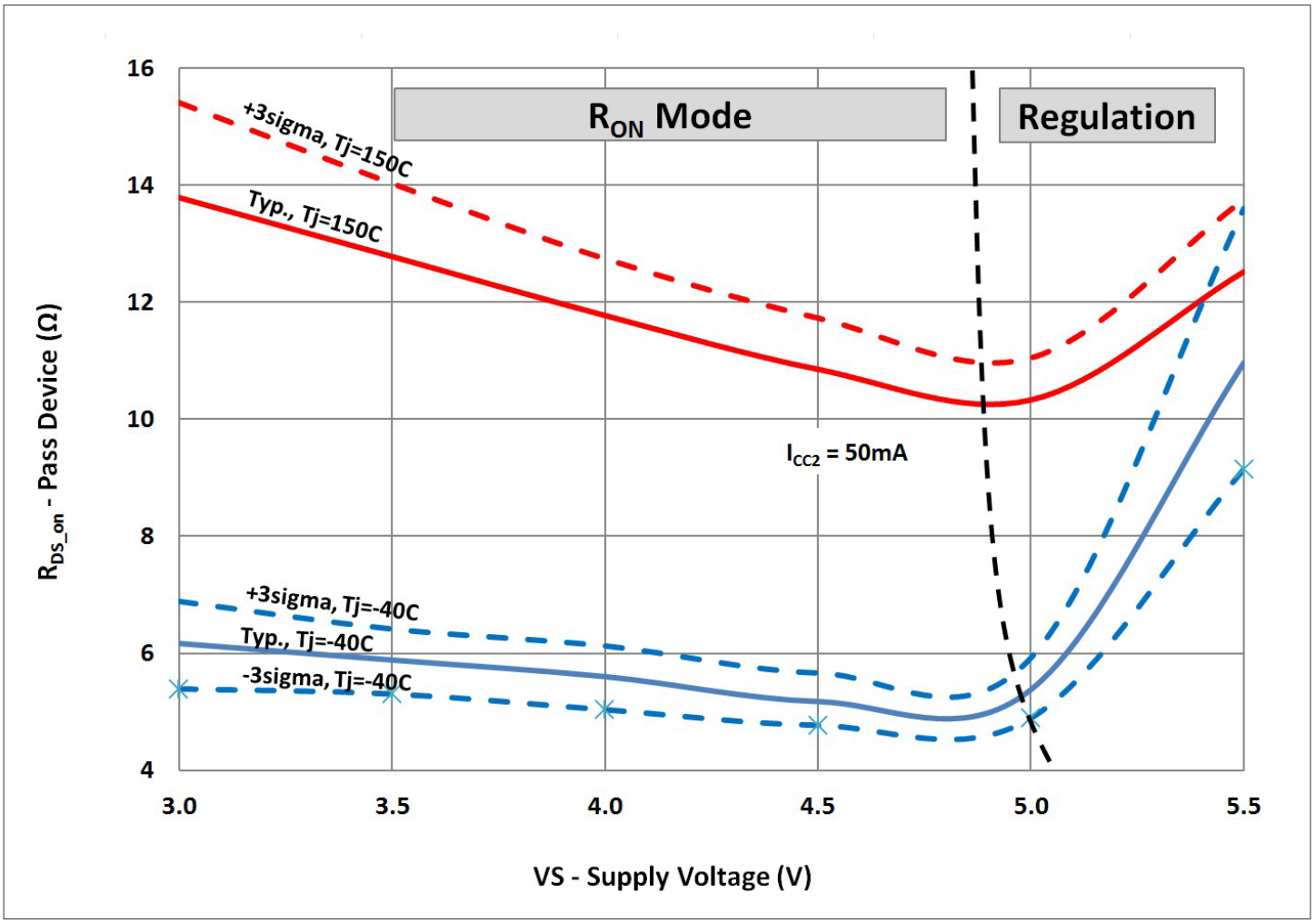


图21 I_{CC2} = 50 mA 时，低压差工作状态下 VCC2 的导通电阻范围

8 外部稳压器 3

8.1 模块描述

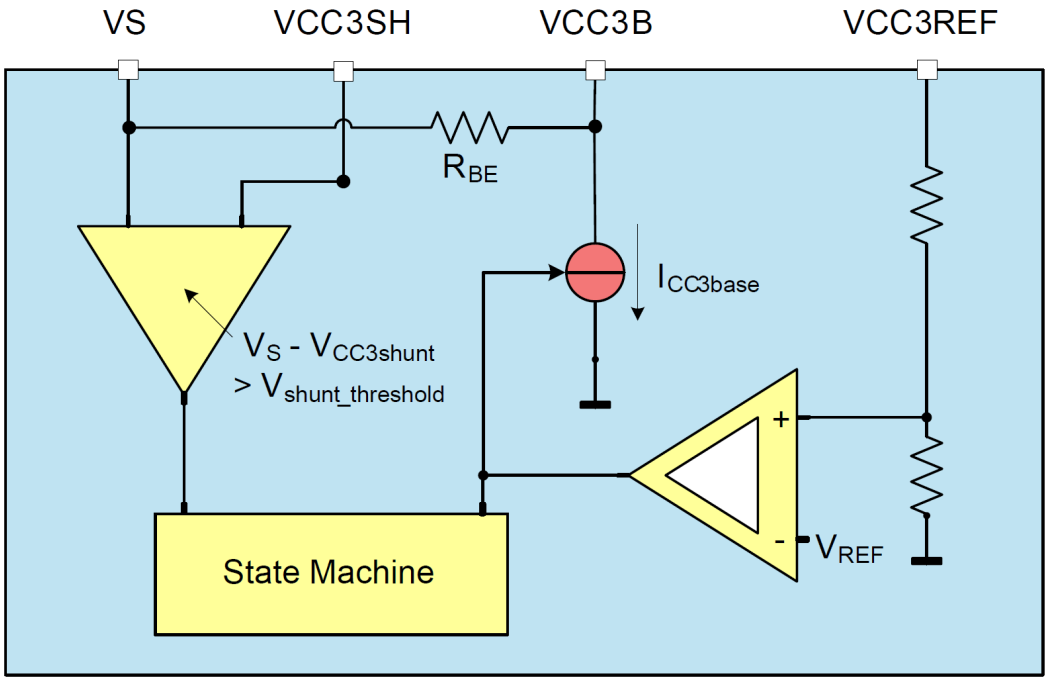


图 22 功能框图及特性

- 具有外部 PNP 晶体管的低压降稳压器（高达 350 mA，具有 470 mΩ 检流电阻）
- 使用四个高压引脚：VS、VCC3B、VCC3SH、VCC3REF
- 可配置为独立调节器（可通过*SPI*选择 5 V 或 3.3 V 输出电压）或采用 VCC1 负载共享模式（5 V 输出电压）
- ≥ 4.7 µF 陶瓷电容，稳定输出电压，*ESR* < 150 mΩ @ f = 10 kHz，实现基于安全相位裕度的稳压器控制环路稳定性（波特图）
- 独立配置中的外部分流器的过流限制
- VCC1 和 VCC3 之间可调节负载均流比，实现负载共享配置
- 仅在独立配置下发生欠压关断

表 18 外部稳压器配置取决于 VCC1 输出电压[1)]

VCC1 configuration	VCC3 voltage for VCC3_V_CFG = 0	VCC3 voltage for VCC3_V_CFG = 1
VCC1 = 5.0 V	VCC3 = 5.0 V	VCC3 = 3.3 V

1) 这些设置仅对 VCC3 独立配置有效。位VCC3_V_CFG 对于 VCC3 负载共享配置，此配置将被忽略。

8.2 功能描述

外部稳压器可作为独立稳压器使用，也可与VCC1 负载共用。在 *SBC* 正常模式下，于寄存器 M_S_CTRL 中置位 VCC3_ON，可将 VCC3 配置为独立稳压器的单独工作模式。负载共用配置则通过寄存器 HW_CTRL 中的 *SPI* 位 VCC3_LS 进行设置。

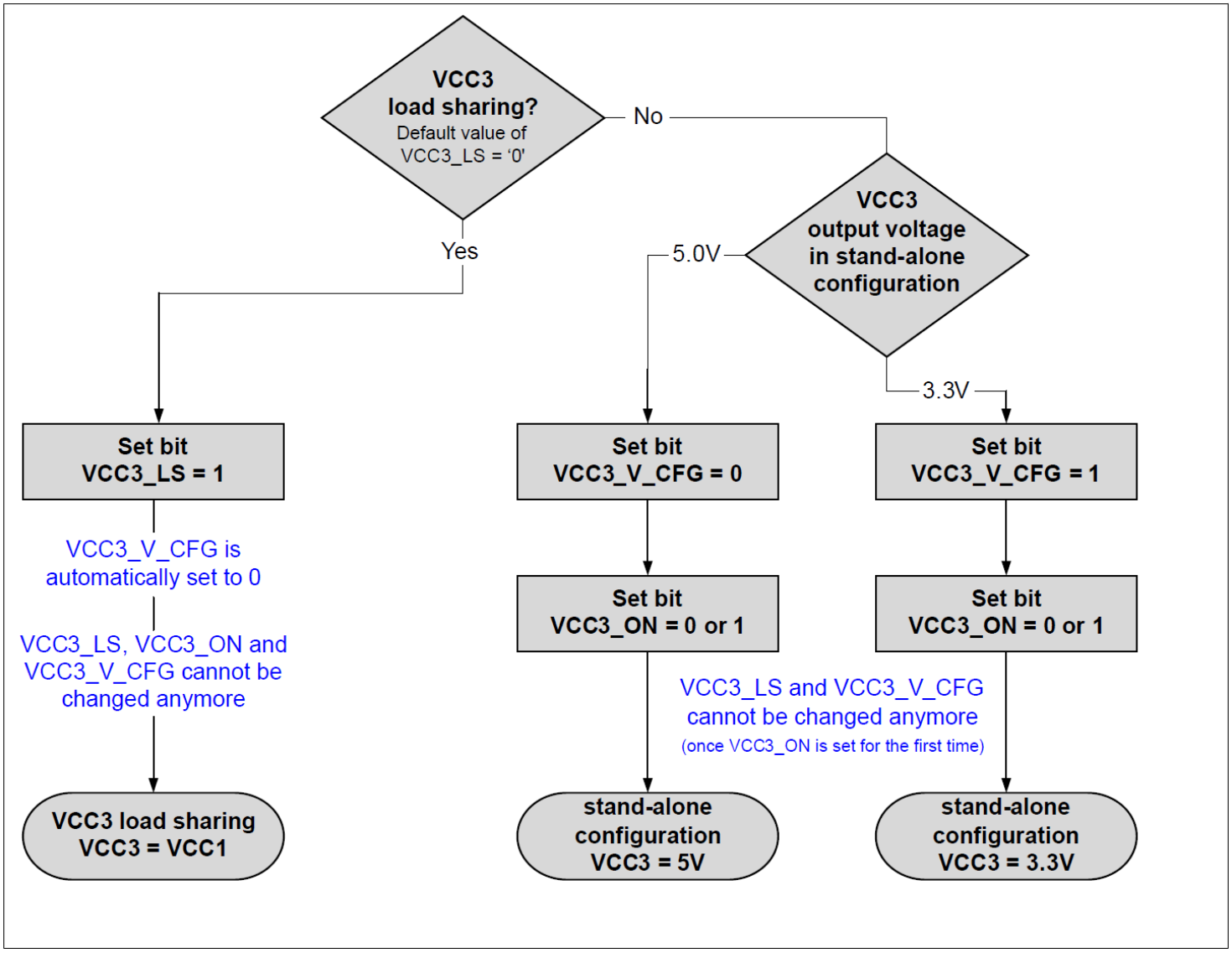


图 23 选择 VCC3 调节器的配置

根据配置不同，稳压器会在相应的 SBC 模式下，按照表 19 中所述运行。VCC3 配置选定后便无法再更改。

在独立配置中，最大电流 ICC3max 由所用分流器确定的限流值定义。在负载分担配置中，分流器用于确定VCC1和VCC3之间的电流比。由于SBC 无法检测外部PNP晶体管的结温，因此无法通过SBC 对其进行过温保护。因此，必须通过应用来分析其热行为。

由于低静态电流的原因，SBC停止模式下的输出电压公差会降低，因为对于小负载，精度较低的低功耗模式调节器将被激活。如果 VCC3 上的基极电流超过 $I_{VCC3base}$ > IVCC3base,Ipeak,r，则高功率模式调节器将被启用，以支持最佳的动态负载行为。如果 VCC3 上的基极电流低于阈值 ($I_{VCC3base}$ < IVCC3base,Ipeak,f)，则通过禁用高功率模式调节器再次恢复低静态电流损耗。在SBC正常模式下仅激活高功率模式调节器。

VCC3 的状态在 SPI 寄存器 SUP_STAT_2 中报告。无论 VCC3 如何配置，若 VS 降至 VS_UV 以下，稳压器将关闭，当 VS 超过此阈值电压时，它将自动再次启用，除非控制位 VCC3_VS_UV_OFF 被置位。也就是说，为了在 VS 低于 VS_UV 时保持 VCC3 启用，必须置位 VCC3_VS_UV_OFF 位。当 VCC3_LS_STP_ON 位被置位且配置了负载共享时，VCC3 在 SBC 停止模式下也将保持激活状态。（有关详细的保护功能，请参阅VCC1 短路和 VCC3 诊断以及SPI 编程。）

表 19　　SBC模式下的外部稳压器状态

SBC Mode	Load Sharing Mode[1)]	Independent Voltage Regulator
INIT Mode	OFF	OFF
Normal Mode	Configurable	Configurable
Stop Mode	OFF/Fixed [2)]	Fixed
Sleep Mode	OFF	Fixed
Restart Mode	ON or ramping	Fixed
Fail-Safe Mode	OFF	OFF

1) 行为类似于 VCC1，需要在SBC 正常模式中进行配置。
2) 出于节能原因，SBC 停止模式下的负载共享操作默认处于禁用状态，但 VCC3_LS 位将保持置位。不过，也可以通过 SPI 位 VCC3_LS_STP_ON 进行配置，使负载共享在 SBC 停止模式下保持启用状态。

注释：

1. *VCC3 稳压器行为的配置必须在器件上电后立即完成，并且只要器件供电，之后就不能更改。*
2. *一旦位VCC3_ON 或VCC3_LS 如果是首次置位，VCC3 的配置将无法再更改。此配置即使在SBC 软复位之后仍然有效- 只要SBC 已通电。*
3. *如果VCC3 输出电压为外部板外负载供电，则应用必须考虑由电缆电感和负载上的去耦电容器构建的串联共振电路。必须提供足够的阻尼（例如，PNP 集电极和VCC3REF 之间有一个100 Ω 电阻器，集电极上有10 µF 电容器- 另请参见图 24）。*

8.2.1　外部稳压器作为独立稳压器

配置为独立稳压器时，*SBC* 提供VCC3，可用作外部电源，例如，由于集成了 HV 引脚 VCC3B、VCC3SH、VCC3REF，可用于传感器。

此配置已设置，并通过启用VCC3_ON锁定。 同时保持VCC3_LS = 0。VCC3 可以开启或关闭，但配置无法再更改。然而， SPI_FAIL 尝试更改配置时，不应置位。

过流限制功能通过外部分流器实现（有关计算所需分流器值，请参阅R_{SHUNT} 的计算）以及输出电流分流电压阈值（Vshunt_threshold）。如果达到此阈值，则 ICC3 受到限制，并且仅设置电流限制位 VCC3_OC（无其他反应），一旦过流情况不再存在，可通过 *SPI* 清除该位。如果不需要过流限制功能，则将引脚 VCC3SH 和 VS 连接在一起。在此配置中，VCC3 启用欠压信号指示，欠压事件通过 SPI 寄存器 SUP_STAT_2 中的 VCC3_UV 位发出信号。

注释：　*为了避免器件的电流损耗增加，必须确保在此配置中VCC3 未连接到VCC1。*

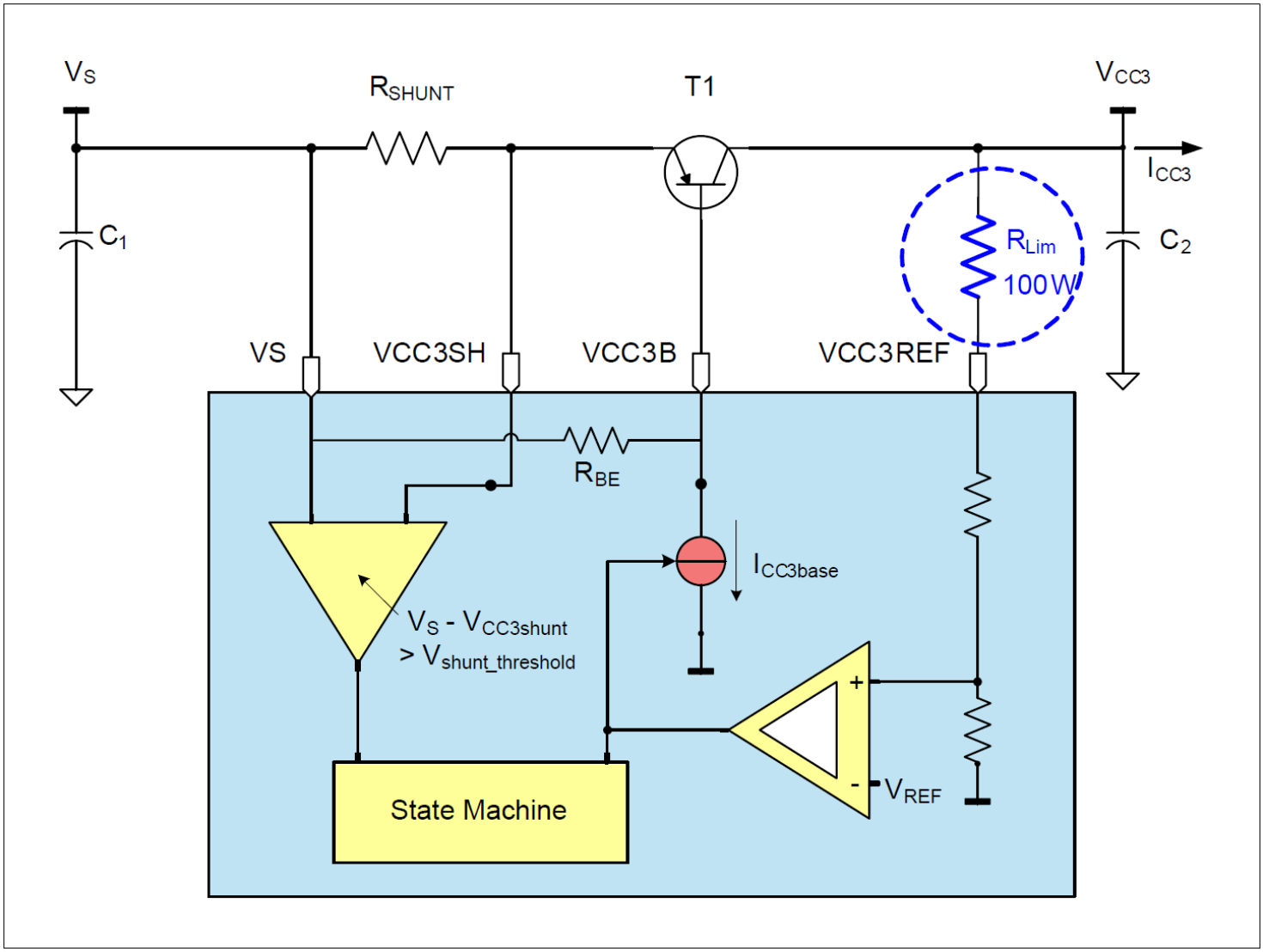


图 24　　当 VCC3 配置为用于外部电源的独立稳压器时，如何保护 VCC3 免受感性短路的影响

8.2.2　负载共享模式下的外部稳压器

负载共享模式的目的是在不增加 *SBC* 内部功耗的情况下，提高 VCC1 的总电流承载能力。负载电流在 VCC1 内部稳压器和 VCC3 的外部 PNP 晶体管之间分配。负载共享模式下的外部稳压器展示了负载共享的设置。负载共享在 SBC 正常模式下处于激活状态。也可以通过 *SPI* 配置使其在 SBC 停止模式下保持激活。

在 SBC 正常模式 下的负载共享配置中使用时， 输入电压高达 $V_{S\,x,MAX}$ 将被调节至 $V_{CC3,nom}$ = 5.0 V，精度为 ±2% 。此配置通过首次启用 VCC3_LS 进行设置并锁定，此时 VCC3_ON 不起作用，即保持 VCC3_ON = 0 。在设置 VCC3_LS 之后尝试更改 VCC3 配置，将导致设置 SPI_FAIL 位，且 VCC3 配置保持不变。出于节能原因，在 SBC 停止模式期间，负载共享将自动禁用（仅当 VCC3_LS_ST P_ON = 0 时），但该位将保持置位状态，以便在返回 SBC 正常模式后自动重新开启。必须确保选择与 VCC1 相同的 VCC3 输出电压电平。

在此配置中，VCC3 没有欠压信号。如果达到故障安全模式（例如，VCC3将关闭，由于欠压关断 (VS,UV 监测）。

VCC3 在此配置中没有过流限制，检流电阻定义了 VCC1 和 VCC3 负载电流之间的负载共享比，请参见R_{shunt}计算。因此，无过流条件VCC3_OC 在此配置下将发出信号。

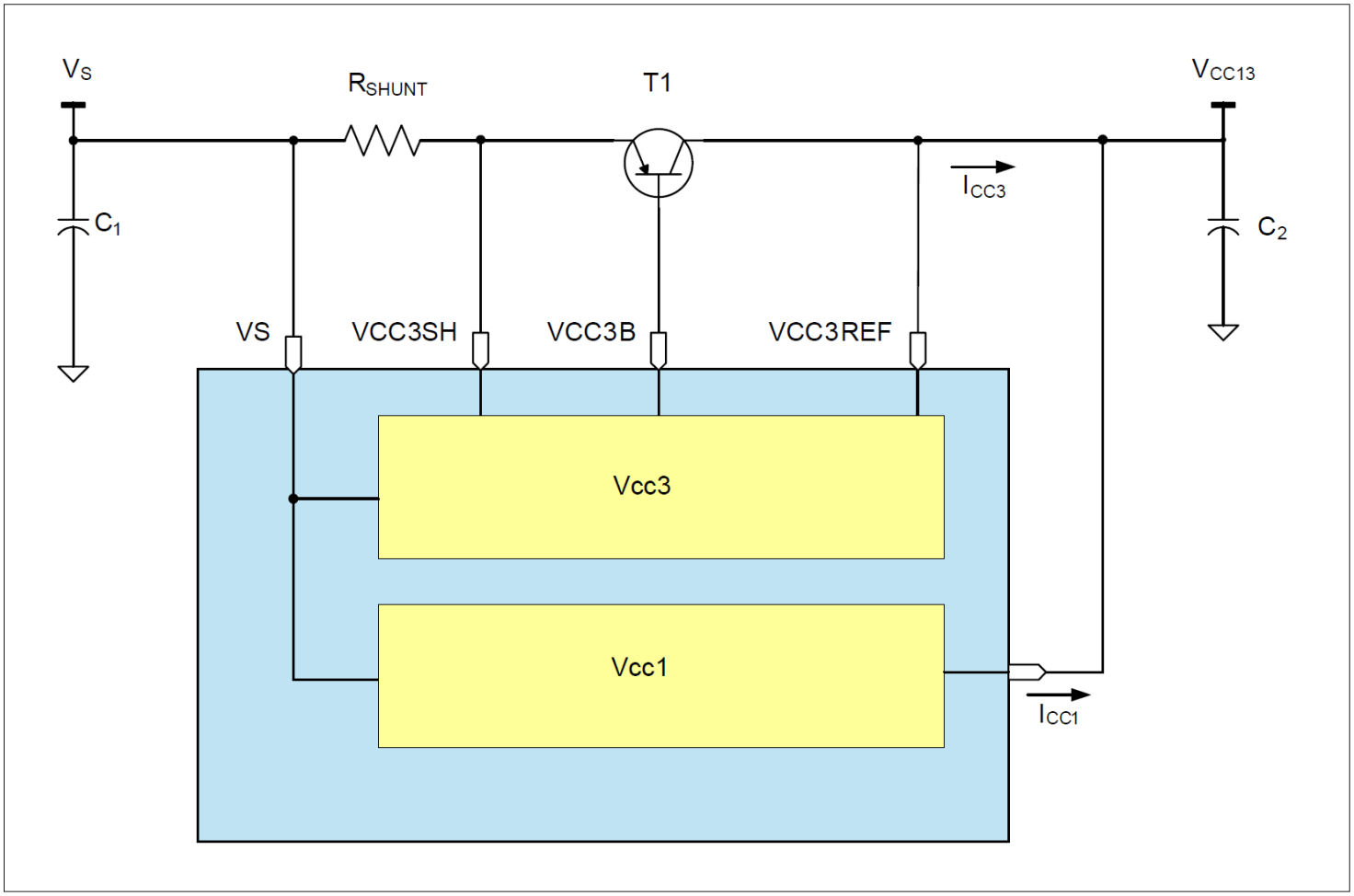


图 25　　负载共享配置中的 VCC3

8.3　　外部元器件

使用英飞凌的BCP52-16 （I_{CC3} < 200 mA）和 MJD253 进行特性分析。

也可以使用其他 PNP 晶体管，但必须在实际应用中验证其功能。

负载共享模式下的外部稳压器 显示已使用的一个硬件配置。

表 20　　V_{CC3} 功能带和不带负载共享配置的物料清单

Device	Vendor	Reference/Value
C2	Murata	10 µF/10 V GCM31CR71A106K64L
RSHUNT	-	1 Ω (with/without LS)
T1	Infineon	BCP52-16

注释： *SBC 无法确保外部PNP 晶体管的热保护。因此，必须根据所选的PNP 器件和印刷电路板（PCB）以及应用特性来选择应用所需的功率处理能力，以防止发生热损坏。例如，通过独立配置中的分流器限流或在负载共享配置中选择正确的ICC1/ICC3 比率。*

注释： *为了确保当VCC3输出离开PCB时VCC3调节器具有最佳EMC 性能，需要进行优化PCB 布局，使PNP 模块非常靠近SBC 。如果这仍不足够或无法实现，也可以在板外连接器上连接一个外部电容（另见应用图）。*

8.4 R_{SHUNT}计算

作为一个独立的调节器，限制开始时的最大电流 I_{CC3max}，以及设置 $I_{CC3} > I_{CC3max}$ 这一位，是由分流电阻 R_{SHUNT} 和输出电流分流电压阈值 $V_{shunt_threshold}$ 决定的。

电阻器可按如下方式计算：

$$R_{SHUNT} = \frac{U_{shunt_threshold}}{I_{CC3\,max}}$$

如果 VCC3 配置为负载共享，则检测流电阻决定 VCC1 和 VCC3 之间的负载共享比率。该比率的计算公式如下

$$\frac{I_{CC3}}{I_{CC1}} = \frac{\frac{110\,\Omega}{105} - \frac{15\,mV}{I_{CC1}}}{R_{SHUNT}}$$

$$I_{CC3} = \frac{\frac{I_{CC1} \cdot 110\,\Omega}{105} - 15\,mV}{R_{SHUNT}}$$

示例：检流电阻为 470 mΩ，VCC1 的负载电流为 100 mA，则I_{CC3} = 191 mA。

8.5 未使用的引脚

如果应用中不使用 VCC3，建议按以下方式连接 VCC3 的未用引脚：

- 将 VCC3SH 连接至 VS 或保持开路
- 保持 VCC3B 开路
- 保持 VCC3REF 开路
- 不要通过*SPI*使用 VCC3，因为这会导致电流损耗增加

8.6 电气特性

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C；*SBC* 正常模式；所有输出打开；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。

表 21 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Parameters independent from Test Set-up							
External Regulator Control Drive Current Capability	$I_{VCC3base}$	40	60	80	mA	$V_{VCC3base}$ = 13.5 V	P_8.6.1
Input Current V_{CC3ref}	$I_{VCC3ref}$	0	3	10	µA	$V_{VCC3ref}$ = 5 V	P_8.6.2
Input Current V_{CC3} Shunt Pin	$I_{VCC3shunt}$	0	3	10	µA	$V_{VCC3shunt}$ = V_S	P_8.6.3
Output Current Shunt Voltage Threshold	$V_{shunt_threshold}$	180	245	310	mV	1)	P_8.6.6
Current increase regulation reaction time	t_{rlinc}	–	–	5	µs	5) V_{CC3} = 5 V to 0 V; $I_{CC3base}$ = 20 mA Figure 26	P_8.6.7
Current decrease regulation reaction time	t_{rldec}	–	–	5	µs	5) V_{CC3} = 0 V to 5 V; $I_{CC3base}$ = 20 mA Figure 26	P_8.6.8
Leakage current of VCC3base when VCC3 disabled	$I_{VCC3base_lk}$	–	–	5	µA	$V_{CC3base}$ = V_S; T_j = 25°C	P_8.6.9
Leakage current of $V_{CC3shunt}$ when VCC3 disabled	$I_{VCC3shunt_lk}$	–	–	5	µA	$V_{CC3shunt}$ = V_S; T_j = 25°C	P_8.6.11
Base to emitter resistor	R_{BE}	120	150	185	kΩ	V_{CC3} = OFF	P_8.6.12
Active Peak Threshold VCC3 (Transition threshold between low-power and high-power mode regulator)	$I_{VCC3base,Ipeak,r}$	–	50	65	µA	5) Drive current $I_{VCC3base}$; $I_{VCC3base}$ rising V_S = 13.5 V; -40°C < T_j < 150°C	P_8.6.33
Active Peak Threshold VCC3 (Transition threshold between high-power and low-power mode regulator)	$I_{VCC3base,Ipeak,f}$	15	30	–	µA	5) Drive current $I_{VCC3base}$; $I_{VCC3base}$ falling V_S = 13.5 V; -40°C < T_j < 150°C	P_8.6.34
Parameters dependent on the Test Set-up (with external PNP transistor MJD-253)							
External Regulator Output Voltage (VCC3 = 5.0 V)	$V_{CC3.out1}$	4.9	5	5.1	V	2) SBC Normal Mode; load sharing configuration with 470 mΩ shunt resistor; 10 µA < I_{VCC1} + I_{VCC3} < 300 mA	P_8.6.13

（表格续下页.....）

表 21 （续）电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
External Regulator Output Voltage (VCC3 = 5.0 V)	$V_{CC3,out2}$	4.9	5	5.1	V	2) SBC Normal Mode; stand-alone configuration 10 mA < I_{VCC3} < 300 mA	P_8.6.14
External Regulator Output Voltage (VCC3 = 5.0 V)	$V_{CC3,out3}$	4.8	5	5.2 4)	V	2) SBC Stop-, Sleep Mode; Stand-alone configuration 10 µA < I_{VCC3} < $I_{VCC3_peak,r}$ 3)	P_8.6.15
External Regulator Output Voltage (VCC3 = 3.3 V)	$V_{CC3,out4}$	3.23	3.30	3.37	V	2) SBC Normal Mode; stand-alone configuration 10 mA < I_{VCC3} < 300 mA	P_8.6.22
External Regulator Output Voltage(VCC3 = 3.3 V)	$V_{CC3,out5}$	3.15	3.30	3.45 4)	V	2) 3) SBC Stop-, Sleep Mode; Stand-alone configuration 10 µA < I_{VCC3} < $I_{VCC3_peak,r}$	P_8.6.23
Load Sharing Ratio ICC1 : ICC3	$Ratio_{LS_1,VCC3}$	1 : 1.35	1 : 1.9	1 : 2.45	–	5) 6) 6.0 V < V_S < 28 V; SBC Normal Mode; LS ratio for a 470 mΩ shunt resistor and total load current of 300 mA	P_8.6.16
Load Sharing Ratio ICC1 : ICC3	$Ratio_{LS_2,VCC3}$	1 : 0.67	1 : 0.95	1 : 1.23	–	5) 6) 6.0 V < V_S < 28 V; SBC Normal Mode; LS ratio for a 1 Ω shunt resistor and total load current of 300 mA	P_8.6.20
Load Sharing Ratio ICC1 : ICC3	$Ratio_{LS_3,VCC3}$	1 : 1.50	1 : 1.95	1 : 2.40	–	5) 6) T_j = 150°C; 8.0 V < V_S < 18 V; SBC Normal Mode; LS ratio for a 470 mΩ shunt resistor and total load current of 300 mA	P_8.6.27
Load Sharing Ratio ICC1 : ICC3	$Ratio_{LS_4,VCC3}$	1 : 0.75	1 : 0.98	1 : 1.21	–	5) 6) T_j = 150°C; 8.0 V < V_S < 18 V; SBC Normal Mode; LS ratio for a 1 Ω shunt resistor and total load current of 300 mA	P_8.6.28

1) 限制开始工作的电流阈值。仅当 VCC3 配置为独立配置时，此阈值才会激活。
2) 公差包括负载调节和线路调节。
3) I_{VCC3_peak}指的是外部 PNP 器件集电极输出的负载电流。该值可以通过将 VCC3base 活动峰值阈值 ($I_{VCC3base,Ipeak}$) 与 PNP 的电流增益相乘来计算。

4) 在T_j > 125°C 时，功率管泄漏可能会增加，如果调节器打开/关闭，则必须将其独立添加到应用的静态电流中。为了防止由于泄漏增加而导致无负载时出现过压状况，内部钳位结构将在典型值时自动导通。高于编程输出电压上限 200mV。

5) 未经过生产测试，由设计指定。

6) a) 比率将根据所选的检流电阻而变化，该值与 PNP 通路器件的最大耗散功率相关。有关比例计算，参见 R_{SHUNT}计算。该比例在低压差工作模式下也会发生变化。对于 5.5 V < VS < 6 V 的电源电压，精度仅适用于总负载电流为 250 mA 的情况。SBC 停止模式下负载共享比例的允许偏差范围比指定值宽 ±10%。 b) SBC停止模式下负载共享时的输出电压精度 为 VCC1 ±4% 或更优（负载电流最高可达 20 mA 时），
精度为 ±2%（负载大于 20 mA时）。在SBC 正常模式下，通常，无论应用的负载如何，5 V/3.3 V 公差的 ±2% 精度都是有效的。

注释：

1. *外部PNP 晶体管不具备热保护措施。因此，应用设计必须采取相应措施避免 PNP 在独立配置中通过分流器限流过热，并在负载共享配置中选择适当的ICC1/ICC3 比率。*

2. *在* SBC *停止模式下，当* I_{VCC3} *超过选定的活动峰值阈值（*$I_{VCC3base,Ipeak}$*）时，其输出电压容差与* SBC *正常模式下相同，但电流消耗会增加。*

调节器反应时间图“电流增加调节器反应时间”和“电流减少调节器反应时间”。

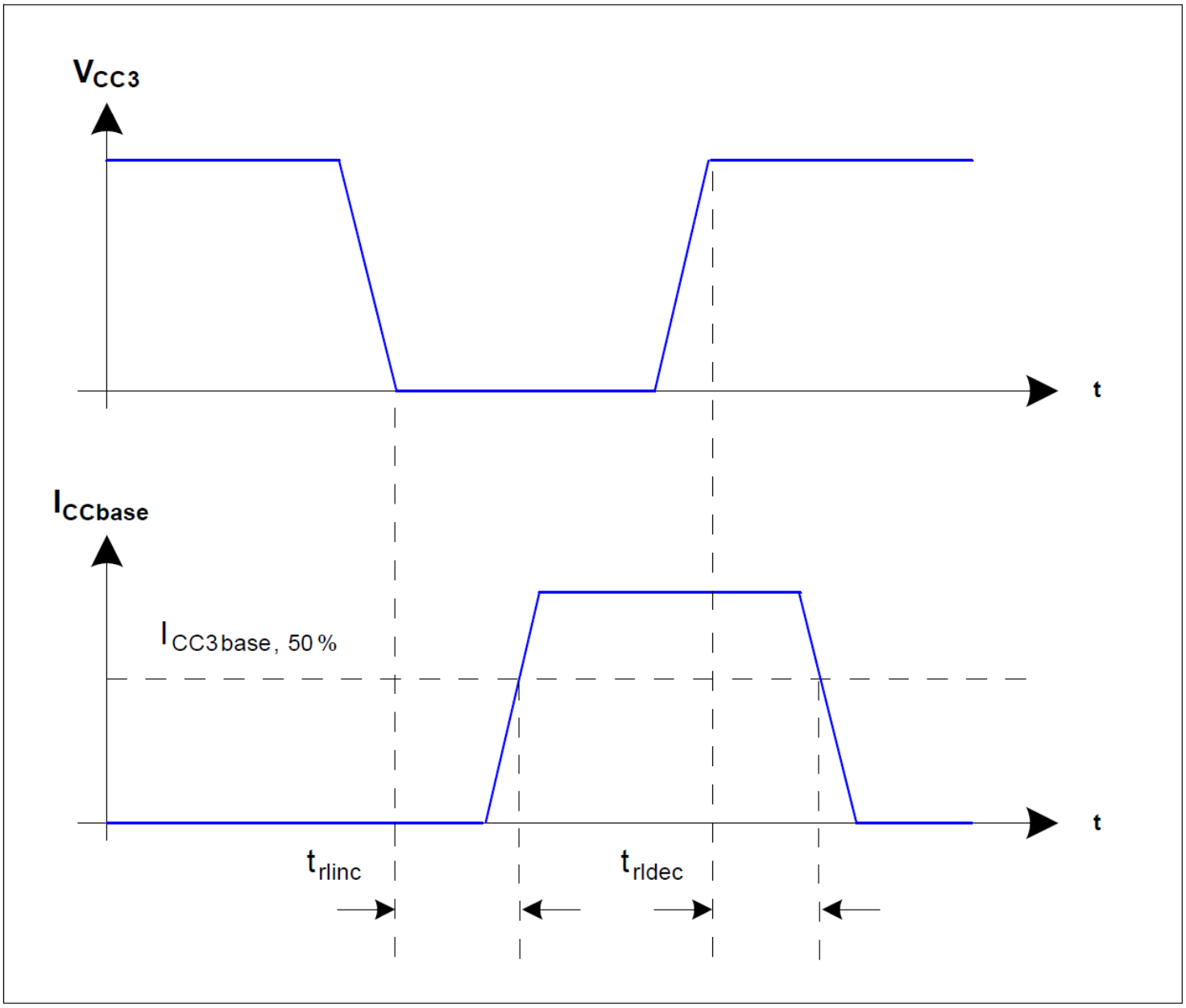


图 26 调节器反应时间

使用BCP52-16 PNP 晶体管和 1 Ω 检流电阻的典型负载共享特性

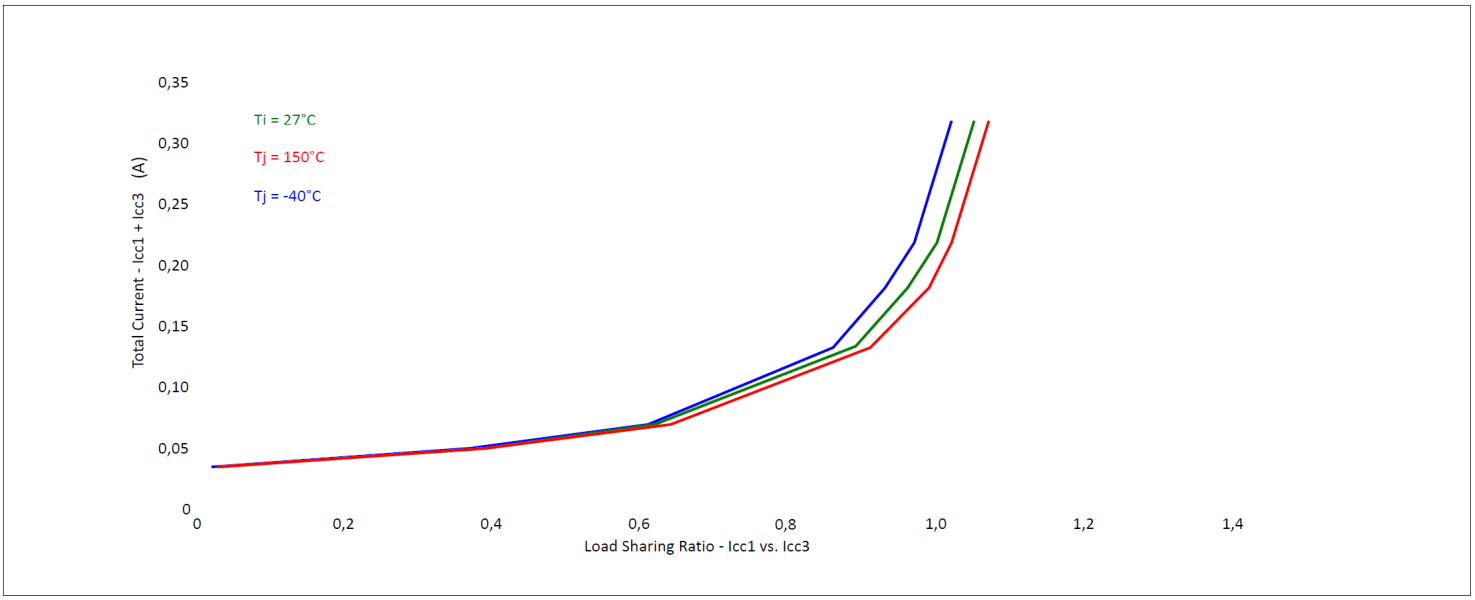


图 27　　负载共享比 ICC1 : ICC3 与总负载电流的关系

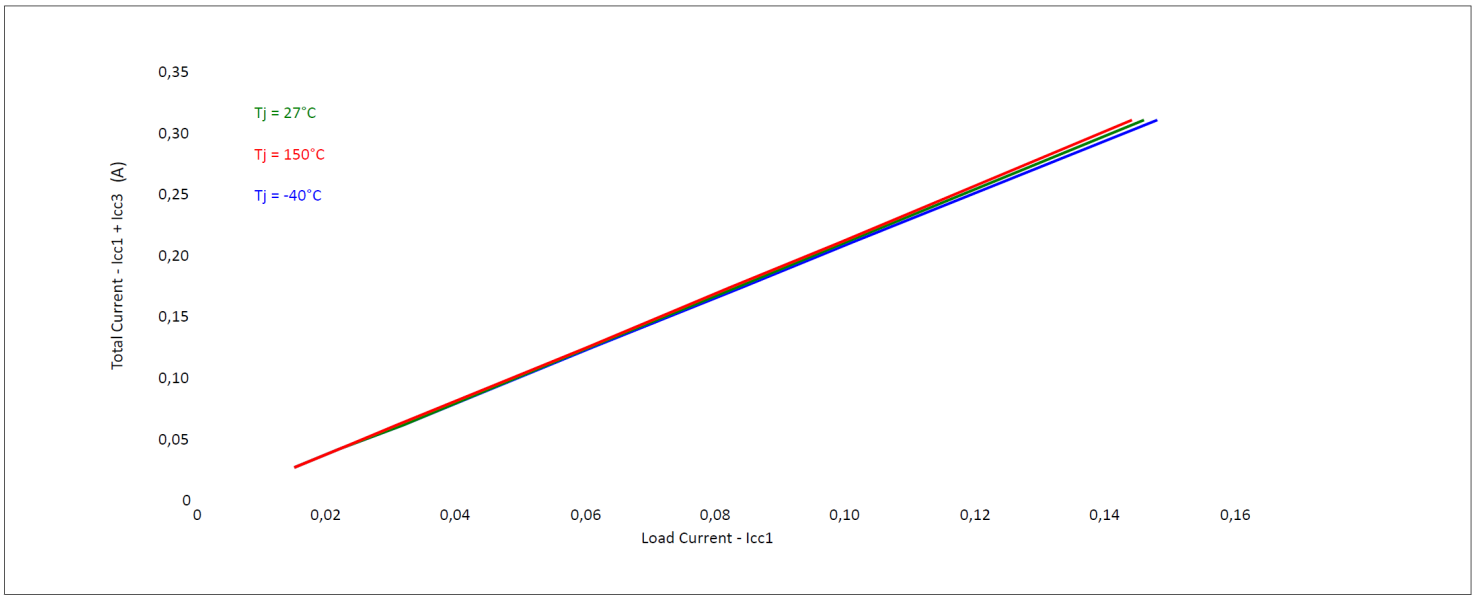


图 28　　ICC1 的负载共享特性与总负载电流的关系

9 高边开关

9.1 模块描述

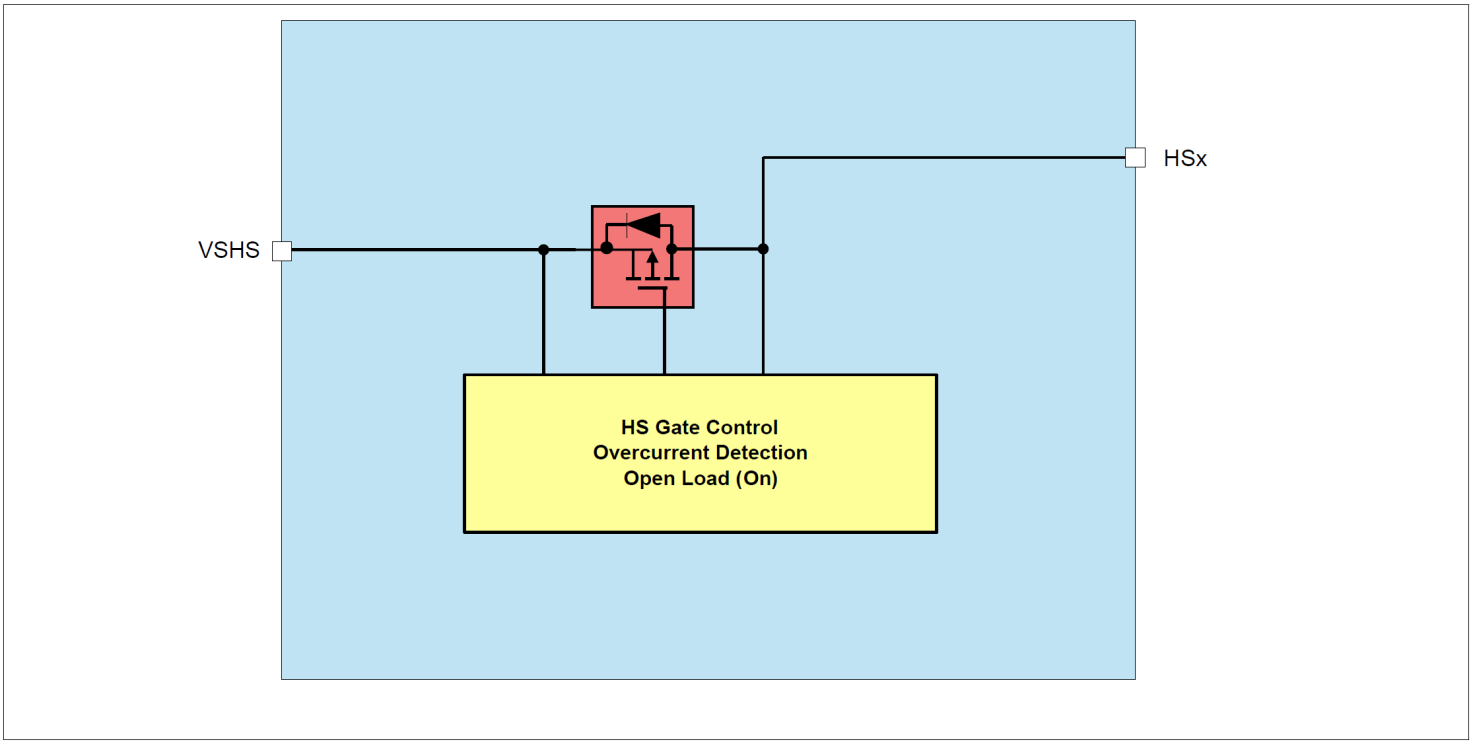


图 29 高边开关模块框图

特性

- 用于高端输出的专用电源引脚 VSHS
- 过压和欠压关断 - 可通过*SPI*配置
- 过流检测及关断
- 导通状态下的开路检测
- 具备*PWM* 功能，其内部定时器可通过SPI进行配置
- 过压（OV）或欠压（*UV*）情况消除后的开关恢复功能可通过 SPI 进行配置

9.2 功能描述

高边开关可用于控制 LED、为唤醒输入供电以及其他负载。高端输出可通过*SPI*直接控制。 通过(寄存器 HS_CTRL1 ,寄存器 HS_CTRL2)、通过集成定时器或通过集成*PWM* 发生器。

高端输出由专用电源引脚 VSHS（与 VS 不同）供电。拓扑支持改进的启动条件行为。

高侧配置（常开、PWM、循环检测等）驱动器的配置必须在*SBC* 正常模式下完成。该配置在 SBC 停止或 SBC 休眠模式下生效，且无法修改。进入时SBC 重启模式或 SBC 故障安全模式时，HSx输出将被禁用。

9.2.1 过压和欠压关断

当VSHS（VSHS、OVD） 过压时，所有处于导通状态的HS驱动器都会关闭。如果电压降至过压阈值以下，HS驱动器将再次激活。此功能可通过设置*SPI* 位 HS_OV_SD _EN来禁用。

当VSHS（VSHS,UVD） 欠压时，HS驱动器将被关闭。如果电压升至欠压阈值以上，HS驱动器将再次激活。此功能可通过设置SPI 位 HS_UV_S D_EN 来禁用。

因此，在解除欠压或过压条件后，HS开关将恢复到通过SPI配置的编程状态。此行为仅在位 HS_OV_UV_REC置位为“1”时有效。否则，开关将保持关闭状态，相应的SPI 控制位将被清除。

过压和欠压在位VSHS_OV和VSHS_UV 中表示，没有其他错误位。

9.2.2 过流检测及关断

如果负载电流超过过流关断阈值的时间长于过流关断滤波时间，输出将被关断。

过流条件和关断由寄存器HS_OC_OT_STAT中相应的HSx_OC_OT 位发出信号。然后，HSx 配置由*SBC* 复位为000。要再次激活高边，HSx 配置必须设置为 ON (001) 或编程为定时器功能。建议在激活高边切换之前清除过流位，因为 SBC 不会自动清除这些位。

9.2.3 开路检测

高端输出的开路检测在输出处于导通状态时进行。如果激活输出中的电流降至开路检测电流以下，则会检测到开路负载，并通过寄存器 HS_OL_STAT 中的相应位 HS1_OL、HS2_OL、HS3_OL 或 HS4_OL 发出信号。高端输出保持激活状态。如果开路负载情况消失，*SPI* 中的开路负载位可以清除。这些位不会由 *SBC* 自动清除。

9.2.4 HSx 在不同 SBC 模式下的运行

- 在 *SBC* 停止模式和 SBC 休眠模式期间，HSx 输出可用于循环检测功能。开路检测、过流关断以及过压和欠压关断功能均可用。过流关断保护功能可能会影响唤醒行为[1)] 。
- HSx 输出也可以为SBC 停止和SBC 休眠模式启用以及由 PWMx 发生器控制。 在进入低功耗模式之前， 必须将 HSx 配置在SBC 正常模式中完成。
- HSx在SBC 重启或SBC 故障安全模式中被关闭。它们可以通过*SPI*启用，在问题被清除之后。

9.2.5 PWM和定时器功能

两个 8 位 *PWM* 发生器专门用于在高端（HS）输出上生成 PWM 信号，例如，用于亮度调节或电源电压波动补偿。PWM 发生器映射到特定的 HS 输出，并且占空比可通过 *SPI* 以 8 位分辨率独立配置（寄存器 PWM1_CTRL、寄存器 PWM2_CTRL）。在寄存器 PWM_FREQ_CTRL 中，每个 PWM 发生器可独立选择两种不同频率（200 赫兹、400 赫兹）。

1 对于唤醒特性，必须在用户软件中考虑所有SBC模式的强制过流关机情况，即由于 HSx 开关被禁用，WKx 引脚上的电平变化可能不再被检测到。

PWM属性和配置：

- 在寄存器 PWM1_CTRL / 寄存器 PWM2_CTRL 以及寄存器 PWM_FREQ_CTRL 中，为相应的 PWM 发生器配置占空比和频率。
- 将PWM 发生器在 HSx_CTRL 中配置的相应HS开关
- PWM发生器将在给高边分配好PWM发生器后立即开始（寄存器 HS_CTRL1 ，寄存器 HS_CTRL2 ）

HS1...HS4 的属性选项

- 定时器1
- 定时器2
- PWM 1
- PWM 2

PWM运行期间的最小导通时间

PWM期间的最小导通时间受相应 HS 开关的实际开启和关闭时间的限制，例如，PWM 设置“0000 0001”无法实现。

PWM运行期间可靠的开路检测

可靠的开路检测的最小PWM设置对于 400 Hz的周期为 3 位，对于 200 Hz的频率设置大于 2 位，即高边导通时间必须大于tOL,HS 。

PWM运行期间可靠的过流检测

可靠的过流检测的最小PWM设置对于 400 Hz的周期大于 1 个数字，对于 200 Hz的频率设置大于 1 个数字，即高边导通时间必须大于tSD,HS 。

9.3 电气特性

表 22 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C ; 所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output HS1, HS2, HS3, HS4							
Static Drain-Source ON Resistance HS1…HS4	$R_{ON,HS25}$	–	7	10	Ω	I_{ds} = 60 mA, T_j < 25°C	P_9.3.1
Static Drain-Source ON Resistance HS1…HS4	$R_{ON,HS150}$	–	11.5	16	Ω	I_{ds} = 60 mA, T_j < 150°C	P_9.3.2
Leakage Current HSx/per channel	$I_{leak,HS}$	–	–	2	µA	1) 0 V < V_{HSx} < V_{SHS}; T_j < 85°C	P_9.3.11
Output Slew Rate (rising)	$SR_{raise,HS}$	0.8	–	2.5	V/µs	1) 20 to 80% V_{SHS} = 6 V to 18 V R_L = 220 Ω	P_9.3.3
Output Slew Rate (falling)	$SR_{fall,HS}$	-2.5	–	-0.8	V/µs	1) 80 to 20% V_{SHS} = 6 V to 18 V R_L = 220 Ω	P_9.3.4
Switch-on time HSx	$t_{ON,HS}$	3	–	30	µs	CSN = HIGH to 0.8 × VSHS; R_L = 220 Ω; V_{SHS} = 6 V to 18 V	P_9.3.5
Switch-off time HSx	$t_{OFF,HS}$	3	–	30	µs	CSN = HIGH to 0.2 × VSHS; R_L = 220 Ω; V_{SHS} = 6 V to 18 V	P_9.3.6
Short Circuit Shutdown Current	$I_{SD,HS}$	150	245	300	mA	V_{SHS} = 6 V to 20 V, hysteresis included	P_9.3.7
Short Circuit Shutdown Filter Time	$t_{SD,HS}$	12	16	20	µs	2) 3)	P_9.3.8
Open Load Detection Current	$I_{OL,HS}$	0.4	–	3	mA	Hysteresis included	P_9.3.9
Open Load Detection hysteresis	$I_{OL,HS,hys}$	0.05	0.45	1.0	mA	1)	P_9.3.14
Open Load Detection Filter Time	$t_{OL,HS}$	50	64	80	µs	2) 3)	P_9.3.10

1) 未经过生产测试，由设计指定。
2) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
3) 配置合适的最小*PWM* 。 用于可靠检测过流和负载开路测量的设置（另请参见PWM和定时器功能）。

10 高速 CAN 收发器

10.1 模块描述

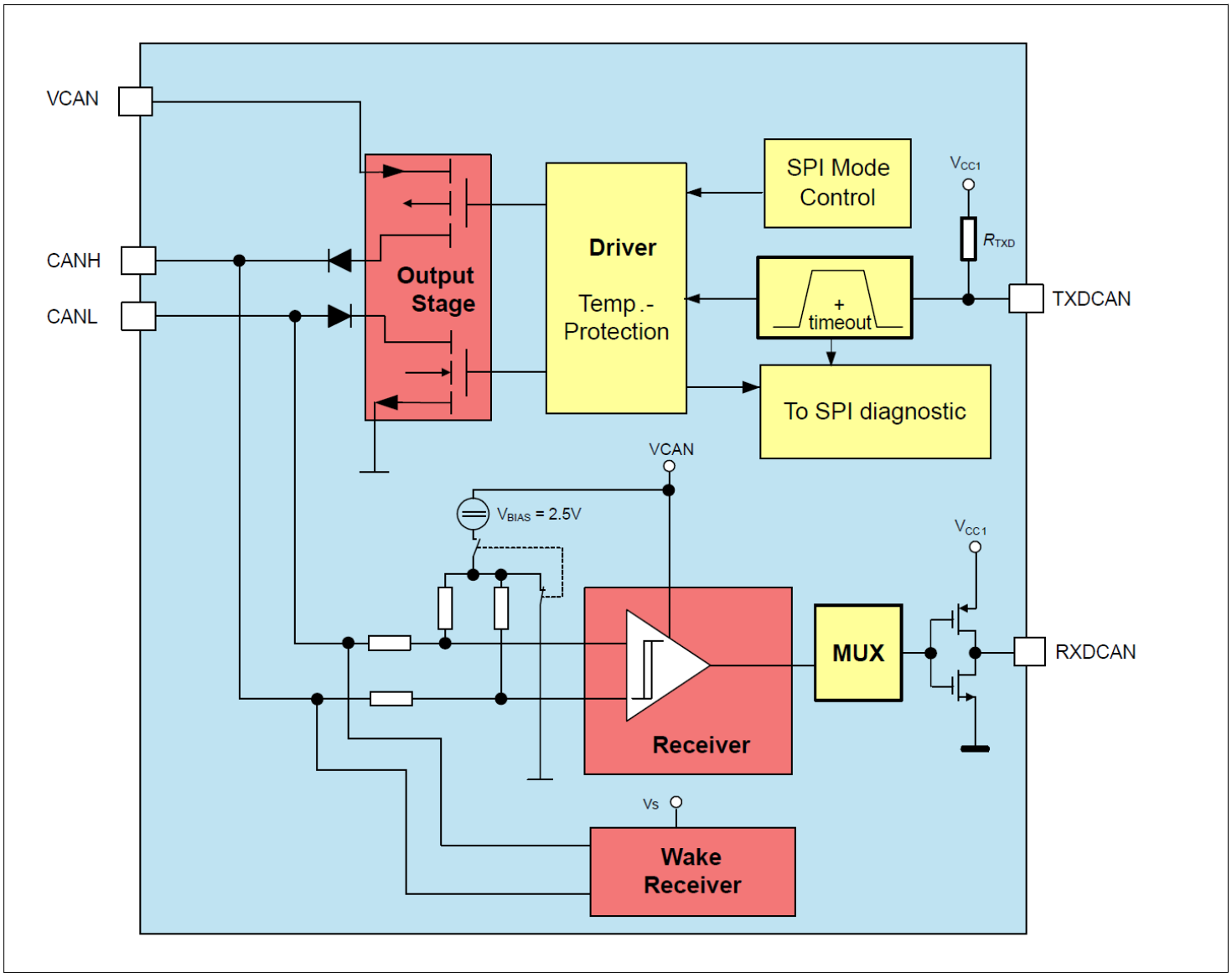


图 30 功能框图

10.2 功能描述

*SBC*的控制器局域网*CAN* 收发器部分提供高速（HS）差分模式数据（最高 2 Mbaud）传输和接收，适用于汽车和工业应用。它作为CAN 协议控制器和符合ISO 11898-2:2016 和 SAE J2284 标准的物理总线之间的接口。

CAN收发器提供低功耗模式以减少电流损耗。这支持部分断电的网络。为了支持软件诊断功能， CAN 已实现仅接收模式。

它旨在当收发器关闭时提供优秀的无源行为（混合网络，clamp15/30 应用）。

通过总线上的消息，可从 CAN 可唤醒模式中实现唤醒。因此，微控制器可以进入掉电或空闲状态，并会由 CAN 总线活动唤醒。

CAN收发器设计用于承受汽车应用的严苛条件，并支持 12V 应用。

不同的收发器模式可以通过*SPI*CAN位进行控制。

图 31 显示改变SBC模式时可能的收发器模式转换

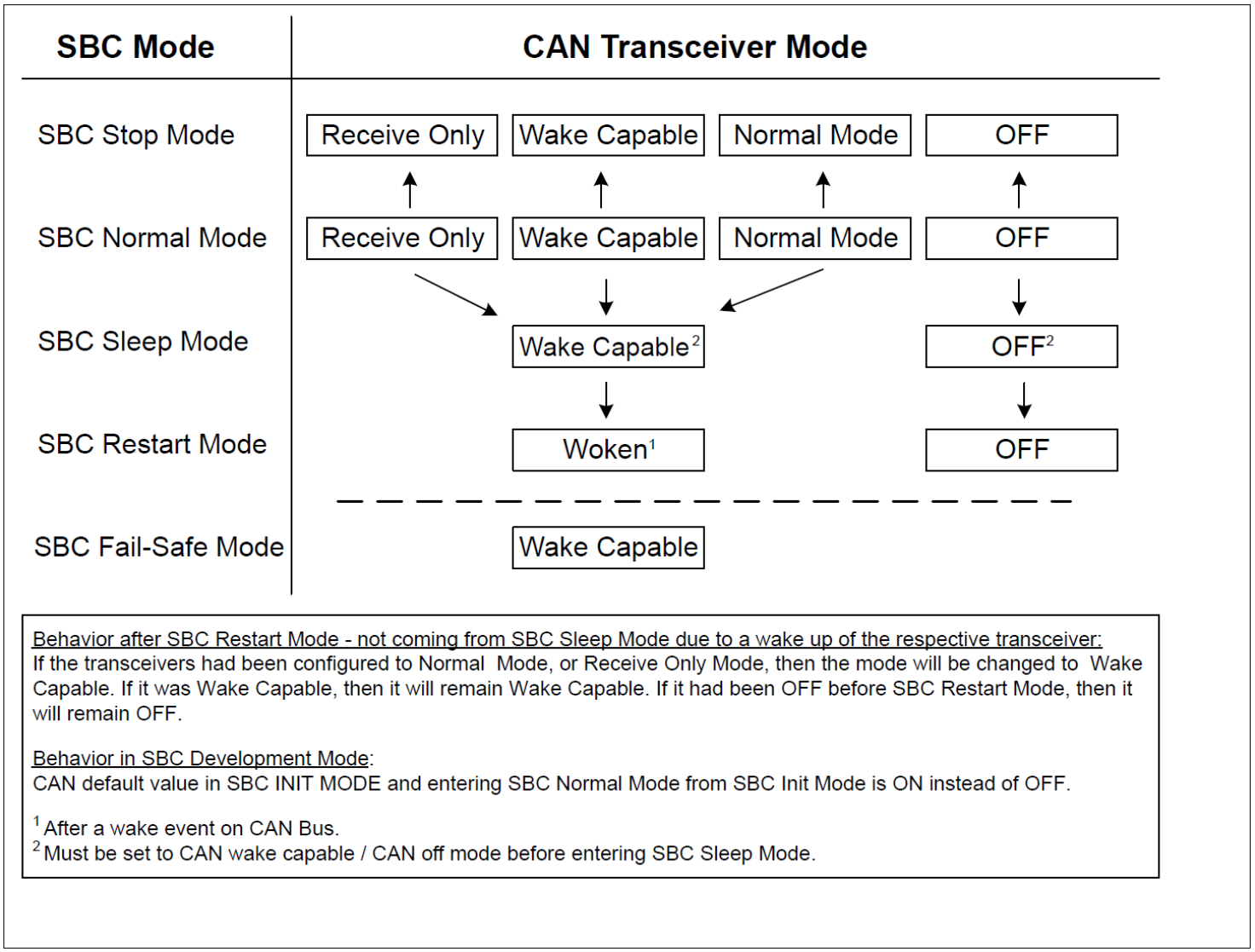


图 31　　CAN 模式控制图

CAN FD 支持

CAN FD 代表‘具有灵活的数据传输速率CAN’。它基于完善且符合ISO 11898-1 标准的CAN协议。 CAN FD 仍然采用总线仲裁方法。其优势在于：在仲裁过程结束后，通过切换到更短的位时间来提高比特率，并在 *CRC* 分隔符处、接收器发送确认位之前，再切换回较长的位时间。另请参见图 32。

此外，通过允许更长的数据字段，有效传输距离得以增加。CAN允许传输多达 64 个数据字节，而标准CAN 仅允许传输 8 个数据字节。

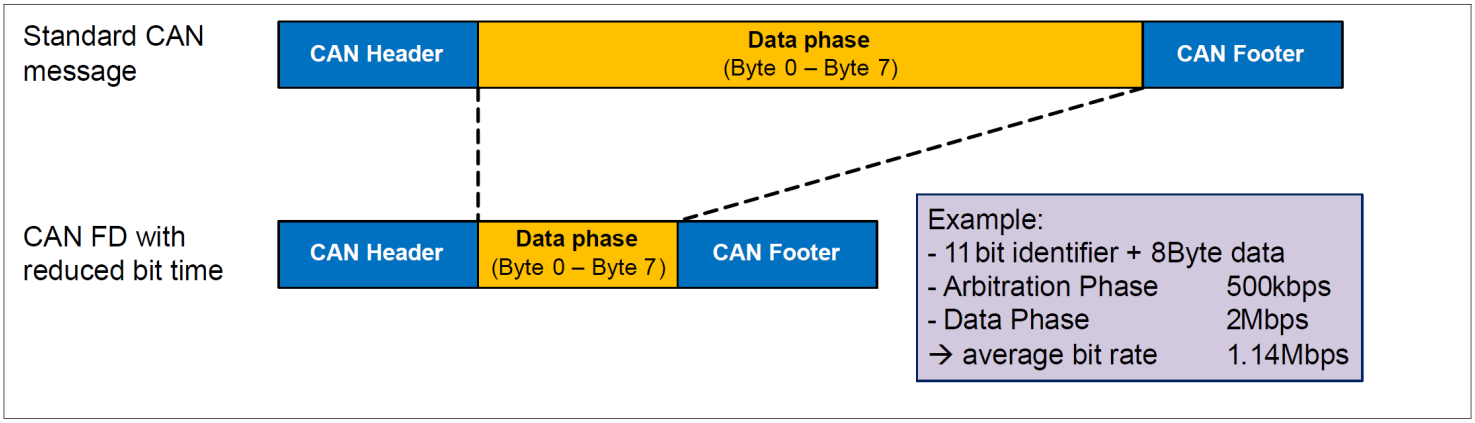


图 32 CAN FD 与标准 CAN 相比，咬合率增加

不仅物理层必须支持CAN FD，CAN控制器也必须支持。如果CAN控制器不支持CANFD，则整个系统将无法正常工作。 然后是相应的CAN总线 节点至少必须能够容错CAN FD 通信。这个CAN FD容错模式是在物理层结合CAN PN。该器件还支持CAN FD 容错模式，请参阅CAN FD 容错模式。

10.2.1 CAN 关闭模式

CAN OFF模式是*SBC*上电后的默认模式。该模式适用于所有SBC模式，旨在完全停止CAN活动或当不需要CAN通信时使用。CANH/L 总线接口用作高阻态输入，漏电流极小。在CAN OFF 模式下，总线上的唤醒事件将被忽略。

10.2.2 CAN 正常模式

CAN 收发器在 *SBC* 正常模式下通过 *SPI* 启用。CAN 正常模式专为 HS-CAN 网络内的正常数据传输 / 接收而设计。该模式在 SBC 正常模式和 SBC 停止模式下均可用。总线偏置设置为 VCAN/2。

传输

来自微控制器的信号被施加到 SBC 的 TXDCAN 输入引脚。总线驱动器切换 CANH/L 输出级，将该输入信号传输到 CAN 总线上。

启用时序

CAN 收发器在总线上发送消息之前，需要一段使能时间 tCAN,EN。这意味着 TXDCAN 信号只有在使能时间过后才能拉低。如果无法确保这一点，那么 TXDCAN 需要重新设置为高电平（= 隐性），直到使能时间结束。

只有下一个显性位会在总线上传输。

CAN正常模式展示了CAN 启用的不同场景和解释。

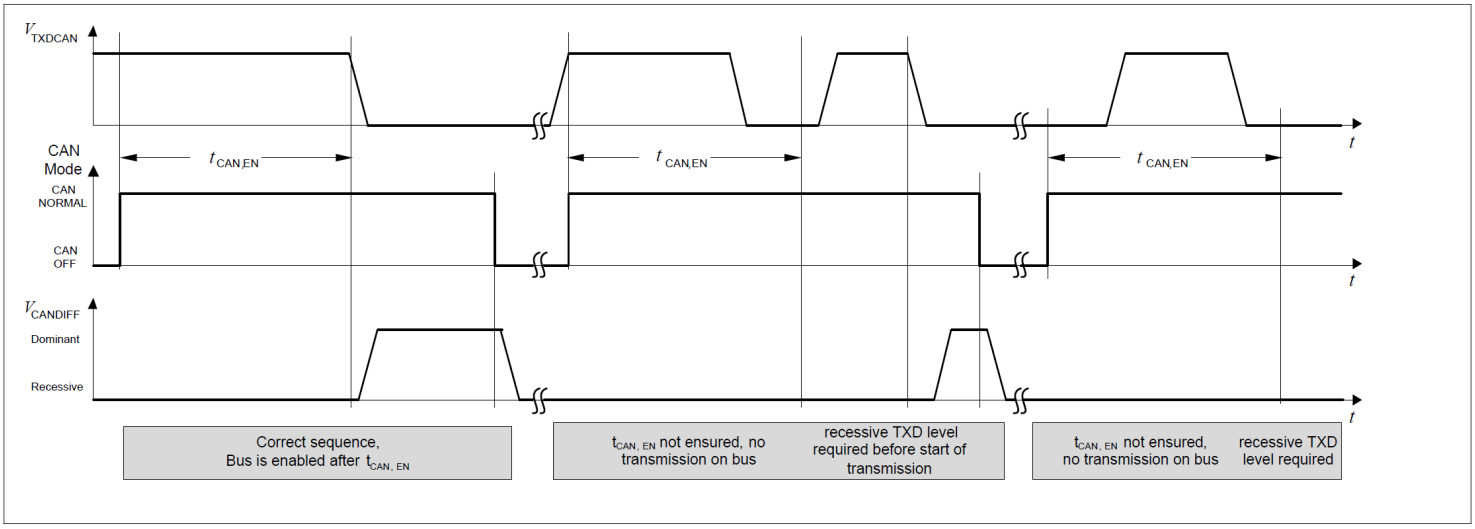


图 33　　CAN收发器启用时序

减少的电磁辐射

为了减少*电磁辐射(EME)*，总线驱动器对称地控制CANH/L斜率。

转换

模拟CAN 总线信号通过差分输入接收器在 RXD 处转换为数字信号。

10.2.3　　CAN仅接收模式

在*CAN* 仅接收模式（仅 RXD），驱动级被禁用，但接收功能仍然可用。此模式可通过正常模式和停止模式下的*SPI* 命令访问。总线偏置被设置为 VCAN/2。

10.2.4　　CAN可唤醒模式

此模式可用于*SBC* 停止、休眠、重启和正常模式，用于监测总线活动。它会在SBC故障安全模式下自动访问。两个总线引脚 CANH/L 均通过输入电阻器连接到GND。

总线上的唤醒信号会导致 SBC 的行为发生变化，如表 23 中所述。CANH/L 引脚通过输入电阻端接至典型值 2.5V。作为向微控制器发出的唤醒信号，RXD_CAN 引脚被置为低电平，并将保持低电平，直到 *CAN* 收发器切换到其他任何模式。发生唤醒事件后，可通过 *SPI* 将收发器切换到 CAN 正常模式进行通信。

如图 34 所示，总线上通过两个连续的显性总线电平来发出 *WUP* 信号，每个显性电平持续时间至少为 tWake1（滤波时间 t > tWake1）且短于 tWake2，两个显性电平之间由一个隐性总线电平隔开，该隐性电平的持续时间大于 tWake1 且短于 tWake2。

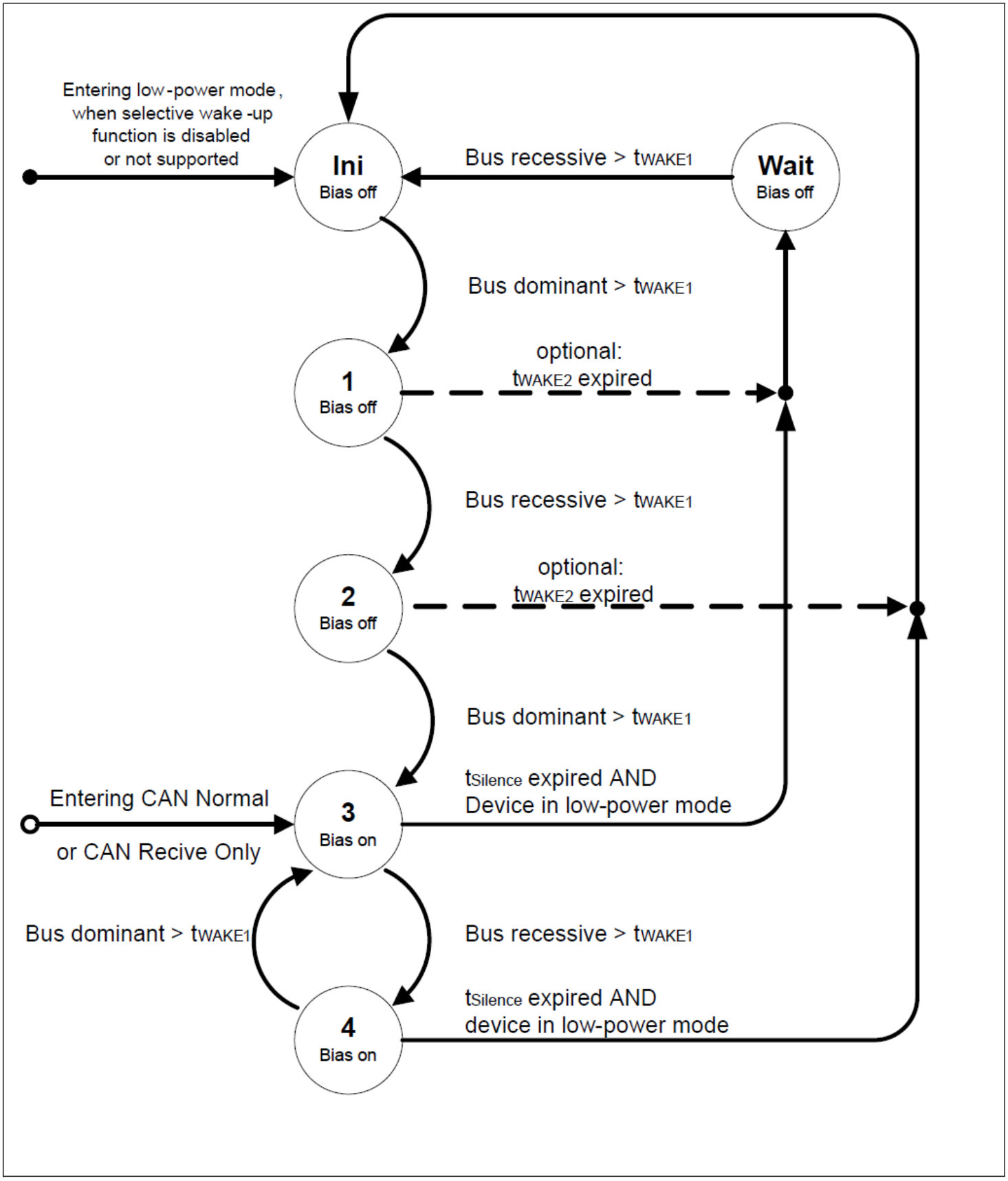


图 34　　根据 ISO 11898-2:2016 中的定义进行 WUP 检测

重新激活收发器以实现唤醒功能

总线唤醒事件后，收发器被唤醒。然而， CAN 收发器模式位仍会显示唤醒功能（='01'），因此 RXD 信号将被拉低。在唤醒事件发生后， CAN收发器的唤醒功能重新启用有两种可能的方式：

- CAN 收发器必须先切换模式，即从可唤醒模式切换到 CAN正常模式、 CAN 仅接收模式或CAN 关闭模式，然后再切换回 CAN 唤醒模式
- 当 SBC 切换到 SBC 停止模式或 SBC 故障安全模式时，会自动重新就绪，以确保具备唤醒能力
- 在SBC 进入休眠模式之前，CAN必须设置CAN可唤醒/CAN关闭模式

注释：

1. *无需清除*CAN *唤醒位*CAN_WU *来恢复唤醒功能，只需切换*CAN *模式。*
2. CAN *模块在处于*CAN *可唤醒模式时，由内部电压供电，也就是说，在此期间该模块无需通过VCAN 引脚供电。在将*CAN *模式更改为正常模式之前，必须首先激活VCAN 的供电。*

在 SBC 停止和正常模式下唤醒

在SBC停止模式下，如果检测到唤醒信号，则始终通过 INT 输出和寄存器WK_STAT_1发出信号。RXDCAN 拉低也会发出信号。这同样适用于SBC 正常模式。微控制器应设置SBC 停止模式到SBC 正常模式下，不会自动切换到正常模式。

出于功能安全原因， 看门狗将在SBC 停止模式下唤醒后自动启用， 以防它之前被禁用（如果位 WD_EN_WK_BUS 之前配置为高电平）。

在 SBC 休眠模式下唤醒

可通过 CAN 消息唤醒（滤波时间 t > tWake1 ）。唤醒会自动将 SBC 转换到 SBC 重启模式，然后再进入正常模式。相应的 RXD 引脚被置为低电平。微控制器能够检测到 RXD 上的低电平信号，并通过 SPI 从寄存器 WK_STAT_1 中读取唤醒源。从休眠模式唤醒时不会产生中断。例如，微控制器现在可以通过 SPI 将 CAN 收发器切换到 CAN 正常模式以开始通信。

表 23　　CAN 总线唤醒引起的操作

SBC Mode	SBC Mode after Wake	VCC1	INT	RXD
Normal Mode	Normal Mode	ON	LOW	LOW
Stop Mode	Stop Mode	ON	LOW	LOW
Sleep Mode	Restart Mode	Ramping Up	HIGH	LOW
Restart Mode	Restart Mode	ON	HIGH	LOW
Fail-Safe Mode	Restart Mode	Ramping up	HIGH	LOW

10.2.5　　TXD 超时特点

在 *CAN* 正常模式下，如果 TXD 信号处于显性状态的时间 $t > t_{TXD_CAN_TO}$，TXD 超时功能将停止在总线上传输该信号。这样做是为了防止总线因错误而被永久阻塞。此时，发送器被禁用，收发器切换到只接收模式。故障会记录在 *SPI* 标志 CAN_FAIL 中。在显性超时条件解除后，CAN 发送器阶段会再次激活，收发器会自动切换回 CAN 正常模式。收发器配置保持不变。

10.2.6 总线显性钳位

在 CAN 正常模式和仅接收模式下，如果高速（HS）*CAN* 总线信号处于显性状态的时间 $t > t_{BUS_CAN_TO}$，就会检测到总线显性钳位，并且 *SPI* 位 CAN_FAIL 会被置位。此时，收发器的配置保持不变。

10.2.7 欠压检测

仅在 *SBC* 正常模式和停止模式下的 *CAN* 正常模式与仅接收模式中，对 CAN 电源引脚上的电压进行监测。若出现 VCAN 欠压情况，会通过 *SPI* 位 VCAN_UV 触发信号，并且 SBC 会禁用发送器阶段。如果 CAN 电源电压达到高于欠压检测阈值的水平（VCAN > VCAN_UV），收发器会自动切换回 CAN 正常模式。收发器配置保持不变。

10.3 电气特性

表 24 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω；*CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
CAN Bus Receiver							
Differential Receiver Threshold Voltage, recessive to dominant edge	V_{diff,rd_N}	–	0.80	0.90	V	$V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$; -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; 0.9 V ≤ V_{diff,D_Range} ≤ 8 V; CAN Normal Mode	P_10.3.2
Dominant state differential input voltage range	$V_{diff_D_range}$	0.9	–	8.0	V	1) $V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$; -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; CAN Normal Mode	P_10.3.59
Differential Receiver Threshold Voltage, dominant to recessive edge	V_{diff,dr_N}	0.50	0.60	–	V	$V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$; -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; -3 V ≤ V_{diff,R_Range} ≤ 0.5 V; CAN Normal Mode	P_10.3.3
Recessive state differential input voltage range	$V_{diff_R_range}$	-3.0	–	0.5	V	1) $V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$; -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; CAN Normal Mode	P_10.3.60
Common Mode Range	CMR	-12	–	12	V	1)	P_10.3.4
CANH, CANL Input Resistance	R_{in}	20	40	50	kΩ	CAN Normal/Wake capable Mode; Recessive state; -2 V ≤ $V_{CANL/H}$ ≤ +7 V	P_10.3.6
Differential Input Resistance	R_{diff}	40	80	100	kΩ	CAN Normal/Wake capable Mode; Recessive state; -2 V ≤ $V_{CANL/H}$ ≤ +7 V	P_10.3.7
Input Resistance Deviation between CANH and CANL	ΔR_i	-3	–	3	%	1) Recessive state; $V_{CANH} = V_{CANL}$ = 5 V	P_10.3.38
Input Capacitance CANH, CANL versus GND	C_{in}	–	20	40	pF	2) V_{TXD} = 5 V	P_10.3.39
Differential Input Capacitance	C_{diff}	–	10	20	pF	2) V_{TXD} = 5 V	P_10.3.40
Wake-up Receiver Threshold Voltage, recessive to dominant edge	$V_{diff,\ rd_W}$	–	0.8	1.15	V	-12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; 1.15 V ≤ V_{diff,D_Range} ≤ 8 V; CAN Wake Capable Mode	P_10.3.8

（表格续下页……）

表 24 （续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C； 4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω； *CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Wake-up Receiver Dominant state differential input voltage range	V_{diff,D_range_W}	1.15	–	8.0	V	[1] -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; CAN Wake Capable Mode	P_10.3.61
Wake-up Receiver Threshold Voltage, dominant to recessive edge	$V_{diff,\ dr_W}$	0.4	0.7	–	V	-12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; -3 V ≤ V_{diff,R_Range} ≤ 0.4 V; CAN Wake Capable Mode	P_10.3.9
Wake-up Receiver Recessive state differential input voltage range	V_{diff,R_range_W}	-3.0	–	0.4	V	[1] -12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; CAN Wake Capable Mode	P_10.3.62
CAN Bus Transmitter							
CANH/CANL Recessive Output Voltage CAN Normal Mode	V_{CANL/H_NM}	2.0	–	3.0	V	CAN Normal Mode; V_{TXD} = V_{CC1}; no load	P_10.3.11
CANH/CANL Recessive Output Voltage CAN Wake Capable Mode	V_{CANL/H_LP}	-0.1	–	0.1	V	CAN Wake Capable Mode; V_{TXD} = V_{CC1}; no load	P_10.3.43
CANH, CANL Recessive Output Voltage Difference V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL} CAN Normal Mode	$V_{diff_r_N}$	-500	–	50	mV	CAN Normal Mode V_{TXD} = V_{CC1};no load	P_10.3.12
CANH, CANL Recessive Output Voltage Difference V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL} CAN Wake Capable Mode	$V_{diff_r_W}$	-200	–	200	mV	CAN Wake Capable Mode; V_{TXD} = V_{CC1};no load	P_10.3.41
CANL Dominant Output Voltage	V_{CANL}	0.5	–	2.25	V	CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V; V_{CAN} = 5 V; 50 Ω ≤ R_L ≤ 65 Ω	P_10.3.13
CANH Dominant Output Voltage	V_{CANH}	2.75	–	4.5	V	CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V; V_{CAN} = 5 V; 50 Ω ≤ R_L ≤ 65 Ω	P_10.3.14
CANH, CANL Dominant Output Voltage Difference V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}	$V_{diff_d_N}$	1.5	2.0	2.5	V	CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V; V_{CAN} = 5 V; 50 Ω ≤ R_L ≤ 65 Ω	P_10.3.16

（表格续下页……）

表 24　　（续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω；*CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
CANH, CANL Dominant Output Voltage Difference $V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$	$V_{diff_d_N}$	1.5	–	5.0	V	1) CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V; V_{CAN} = 5 V; R_L = 2240 Ω	P_10.3.55
CANH, CANL Dominant Output Voltage Difference $V_{diff} = V_{CANH} - V_{CANL}$	$V_{diff_d_N}$	1.4	–	3.3	V	1) CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V; V_{CAN} = 5 V; 45 Ω ≤ R_L ≤ 70 Ω	P_10.3.56
CANH, CANL output voltage difference slope, recessive to dominant	$V_{diff_slope_rd}$	–	–	70	V/µs	1) 30% to 70% of measured differential bus voltage, C_L = 100 pF, R_L = 60 Ω	P_10.3.57
CANH, CANL output voltage difference slope, dominant to recessive	$V_{diff_slope_dr}$	–	–	70	V/µs	1) 70% to 30% of measured differential bus voltage, C_L = 100 pF, R_L = 60 Ω	P_10.3.58
Driver Symmetry $V_{SYM} = V_{CANH} + V_{CANL}$	V_{SYM}	4.5	–	5.5	V	3) CAN Normal Mode; V_{TXD} = 0 V/5 V; V_{CAN} = 5 V; C_{SPLIT} = 4.7 nF; R_L = 60 Ω	P_10.3.42
CANH Short Circuit Current	I_{CANHsc}	-115	-80	-50	mA	CAN Normal Mode; $V_{CANHshort}$ = -3 V	P_10.3.17
CANL Short Circuit Current	I_{CANLsc}	50	80	115	mA	CAN Normal Mode $V_{CANLshort}$ = 18 V	P_10.3.18
Leakage Current (unpowered device)	$I_{CANH,lk}$ $I_{CANL,lk}$	–	5	7.5	µA	V_S = V_{CAN} = *0 V;* 0 V < $V_{CANH,L}$ ≤ 5 V; 4) R_{test} = 0/47 kΩ	P_10.3.19
Receiver output RxD							
HIGH level Output Voltage	$V_{RXD,H}$	0.8 × V_{CC1}	–	–	V	CAN Normal Mode $I_{RXD(CAN)}$ = *-2 mA*	P_10.3.21
LOW Level Output Voltage	$V_{RXD,L}$	–	–	0.2 × V_{CC1}	V	CAN Normal Mode $I_{RXD(CAN)}$ = *2 mA*	P_10.3.22
Transmitter Input TXD							
HIGH Level Input Voltage Threshold	$V_{TXD,H}$	–	–	0.7 × V_{CC1}	V	CAN Normal Moderecessive state	P_10.3.23

（表格续下页……）

表 24　　（续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω；*CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
LOW Level Input Voltage Threshold	$V_{TXD,L}$	0.3 × V_{CC1}	–	–	V	CAN Normal Modedominant state	P_10.3.24
TXD Input Hysteresis	$V_{TXD,hys}$	0.08 × V_{CC1}	0.12 × V_{CC1}	0.5 × V_{CC1}	V	1)	P_10.3.25
TXD Pull-up Resistance	R_{TXD}	20	40	80	kΩ	–	P_10.3.26
CAN Transceiver Enabling Time	$t_{CAN,EN}$	8	13	18	µs	5) CSN = HIGH to first valid transmitted TXD dominant	P_10.3.27
Dynamic CAN-Transceiver Characteristics							
Min. Dominant Time for Bus Wake-up	t_{Wake1}	0.50	–	1.8	µs	-12 V ≤ V_{CM}CAN ≤ +12 V; CAN Wake capable Mode	P_10.3.28
Wake-up Time-out, Recessive Bus	t_{Wake2}	0.8	–	10	ms	5) CAN Wake capable Mode	P_10.3.29
WUP Wake-up Reaction Time	t_{WU_WUP}	–	–	100	µs	5) 6) 7) Wake-up reaction time after a valid WUP on CAN bus;	P_10.3.44
Loop delay (recessive to dominant)	$t_{LOOP,f}$	–	150	255	ns	3) CAN Normal Mode C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF	P_10.3.30
Loop delay (dominant to recessive)	$t_{LOOP,r}$ t	–	150	255	ns	3) CAN Normal Mode C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF	P_10.3.31
Propagation DelayTXD LOW to bus dominant	$t_{d(L),T}$	–	50	–	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; 50 Ω ≤ R_L ≤ 65 Ω; V_{CAN} = 5 V	P_10.3.32
Propagation DelayTXD HIGH to bus recessive	$t_{d(H),T}$	–	50	–	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; 50 Ω ≤ R_L ≤ 65 Ω; V_{CAN} = 5 V	P_10.3.33
Propagation Delaybus dominant to RXD LOW	$t_{d(L),R}$	–	100	–	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; 50 Ω ≤ R_L ≤ 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF	P_10.3.34

（表格续下页……）

表 24　　（续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω；*CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Propagation Delaybus recessive to RXD HIGH	$t_{d(H),R}$	–	100	–	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; 50 Ω ≤ R_L ≤ 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF	P_10.3.35
Received Recessive Bit Width CAN FD up to 2 Mbps	$t_{bit(RXD)}$	400	–	550	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF; $t_{bit(TXD)}$ = 500 ns; Timing definition according to Figure 36	P_10.3.46
TransmittedRecessive Bit Width CAN FD up to 2 Mbps	$t_{bit(BUS)}$	435	–	530	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = *15 pF;* $t_{bit(TXD)}$ = 500 ns;Timing definition according to Figure 36	P_10.3.47
Receiver Timing Symmetry CAN FD up to 2 Mbps	Δt_{Rec}	-65	–	40	ns	CAN Normal Mode C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF; $t_{bit(TXD)}$ = 500 ns;Timing definition according to Figure 36	P_10.3.48
Received Recessive Bit Width CAN FD up to 5 Mbps	$t_{bit(RXD)}$	120	–	220	ns	CAN Normal Mode; C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF; $t_{bit(TXD)}$ = 200 ns; Parameter definition in according to Figure 36	P_10.3.52

（表格续下页……）

表 24 （续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V； T_j = -40°C 至 150°C；4.75 V < V_{CAN} < 5.25 V； R_L = 60 Ω；*CAN* 正常模式；所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有说明）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Transmitted Recessive Bit Width CAN FD up to 5 Mbps	$t_{bit(BUS)}$	155	–	210	ns	CAN Normal Mode; C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF; $t_{bit(TXD)}$ = 200 ns; Parameter definition in according to Figure 36	P_10.3.53
Receiver Timing Symmetry CAN FD up to 5 Mbps	Δt_{Rec}	-45	–	15	ns	CAN Normal Mode; C_L = 100 pF; R_L = 60 Ω; V_{CAN} = 5 V; C_{RXD} = 15 pF; $t_{bit(TXD)}$ = 200 ns; Parameter definition in according to Figure 36	P_10.3.54
TXD Permanent Dominant Time-out	$t_{TxD_CAN_TO}$	1.6	2	2.4	ms	5) CAN Normal Mode	P_10.3.36
BUS Permanent Dominant Time-out	$t_{BUS_CAN_TO}$	1.6	2	2.4	ms	5) CAN Normal Mode	P_10.3.37
Timeout for bus inactivity	$t_{SILENCE}$	0.6	–	1.2	s	5)	P_10.3.50
Bus Bias reaction time	t_{Bias}	–	–	200	µs	5)	P_10.3.51

1) 未经过生产测试，由设计指定。
2) 未进行生产测试，由设计规定，S2P - 方法； f = 10 MHz。
3) VSYM 应在显性和隐形状态期间以及显性到隐性的过渡期间观察到，反之亦然，同时 TXD 通过频率高达 1 MHz (2 MBit/s) 的方波信号 (50% 占空比) 进行模拟。
4) R_{test} 在 (VS/VCAN) 和 0 V (GND)。
5) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
6) 在 *SBC* 停止模式下通过 INT 引脚激活来发出唤醒信号，在 SBC 休眠模式下通过 VCC1 电压上升来唤醒并发出唤醒信号。
7) 时间开始于最后一个显性的WUP。

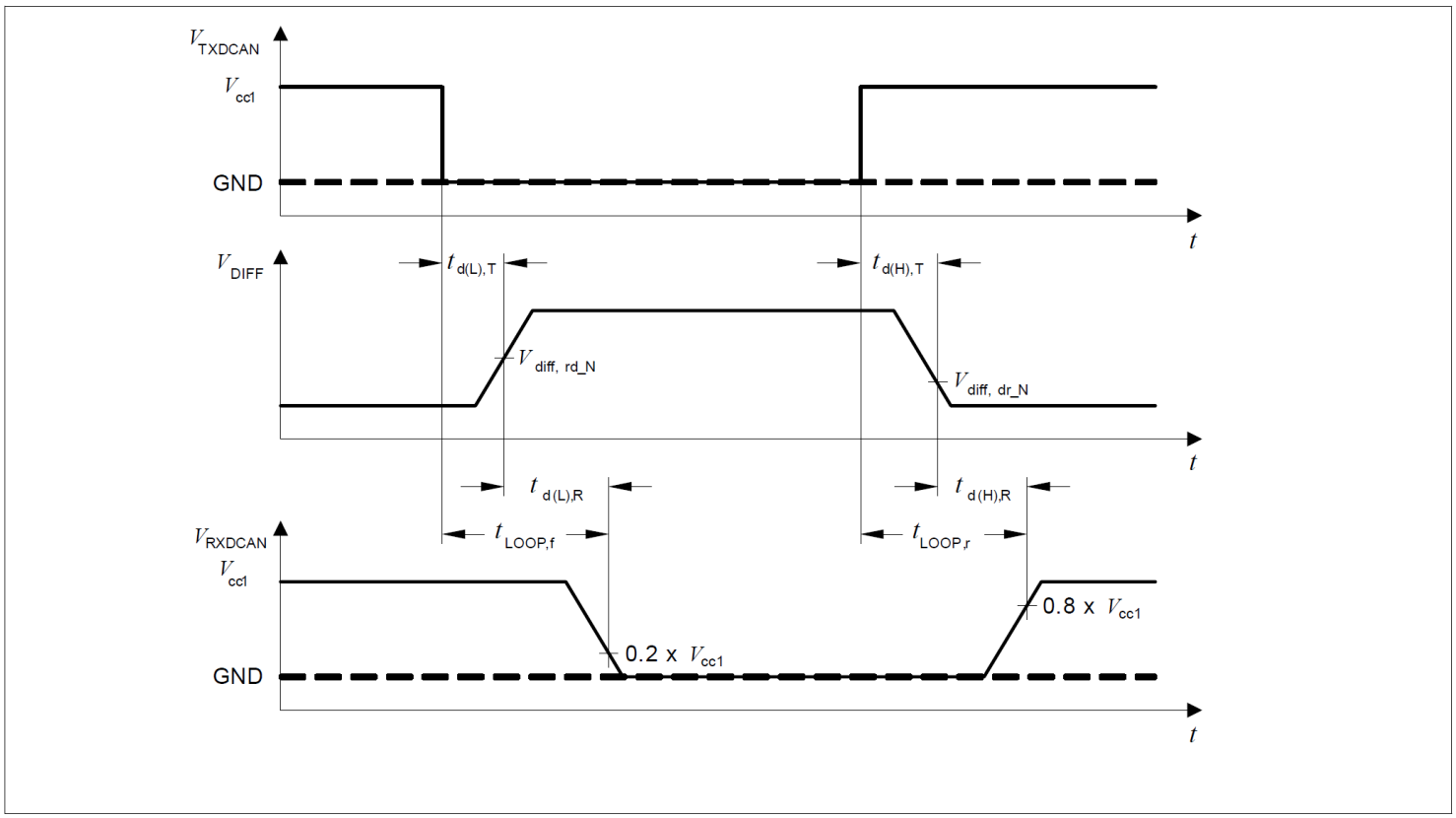


图 35　　动态特性时序图

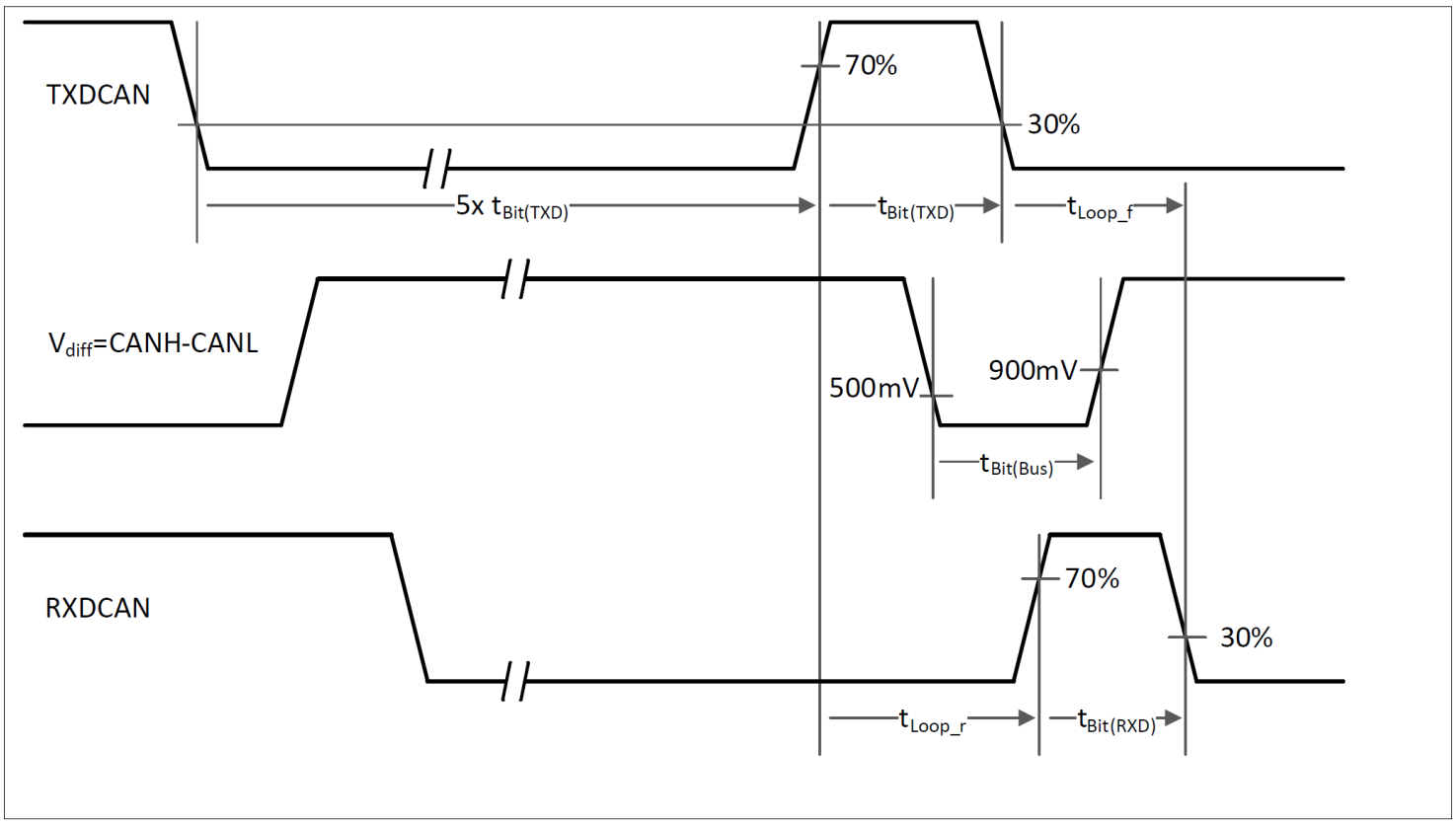


图 36　　来自 ISO 11898-2: t_{loop}, $t_{bit(TXD)}$, $t_{bit(Bus)}$, $t_{bit(RXD)}$ 定义

11 LIN 收发器

11.1 模块描述

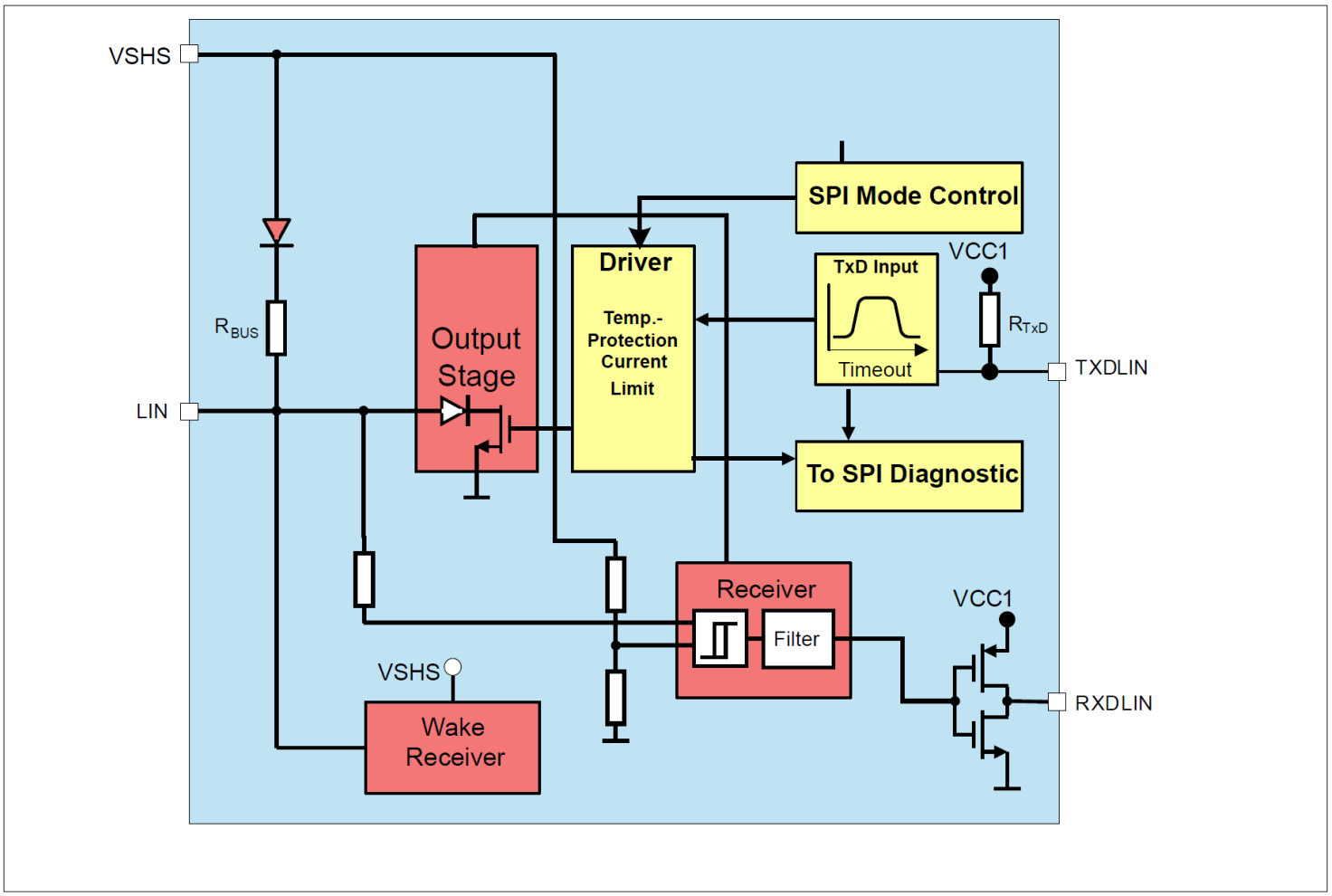


图37 框图

11.1.1 LIN规格

LIN 网络由国际机构标准化。

该器件符合物理层标准LIN 2.2/ ISO 17987-4 和 SAE J2602-2。SAE J2602-2 标准与LIN 2.2/ ISO 17987-4 标准不同，这主要由于较低的数据传输速率（10.4 kbit/s）。

11.2 功能描述

LIN 总线是一种单线双向总线，用于车载网络。该设备内部集成的 LIN 收发器是微控制器与物理 LIN 总线之间的接口。微控制器的数字输出数据通过设备上的 TXD 输入引脚驱动至 LIN 总线。TXD 输入上的传输数据流会转换为具有优化转换速率的 LIN 总线信号，以尽量降低 LIN 网络的电磁辐射（*EME*）水平。RXD 输出将 LIN 总线上的信息回传给微控制器。接收器集成了滤波网络，用于抑制 LIN 总线上的噪声，并提高收发器的电磁抗扰度。根据 LIN 2.2/ISO 17987 - 4 标准，LIN 总线上可能存在两种逻辑状态。每个 LIN 网络都由一个主节点和一个或多个从节点组成。要将该设备配置用于主节点应用，需在 LIN 总线与电源 VSHS 之间连接一个 1kΩ 的电阻和一个反向二极管。

不同的收发器模式可通过 *SPI* 和 LIN2 位进行控制。
功能描述显示改变*SBC*模式时可能的收发器模式转换。

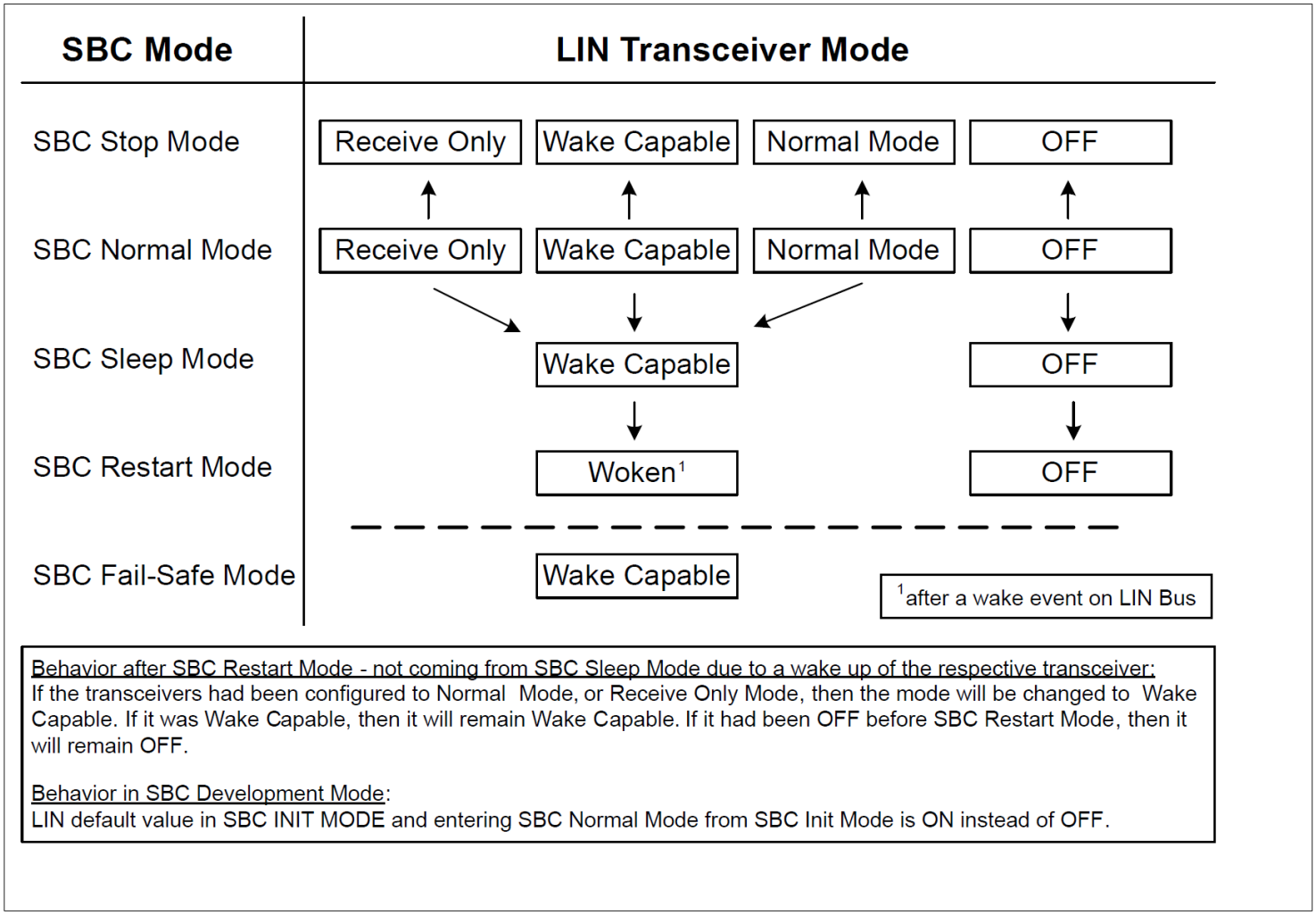


图 38 LIN 模式控制图

11.2.1 LIN 关闭模式

LIN 关闭模式是 *SBC* 上电后的默认模式。它在所有 SBC 模式下都可用，旨在完全停止 LIN 活动，或在不需要 LIN 通信时使用。在 LIN 关闭模式下，总线上的唤醒事件将被忽略。

11.2.2 LIN 正常模式

在 *SBC* 正常模式下，通过 *SPI* 启用 *LIN* 收发器。LIN 正常模式专为 LIN 网络内的正常数据传输与接收而设计。该模式在 SBC 正常模式和 SBC 停止模式下均可用。

传输

来自微控制器的信号被施加到 SBC 的 TXDLIN输入引脚。总线驱动器切换 LIN 输出级，将该输入信号传输到 LIN 总线上。

启用时序

LIN 收发器在总线上发送消息之前，需要一段使能时间 tLIN,EN。这意味着 TXDLIN 信号只有在使能时间过后才能拉低。如果无法确保这一点，那么 TXDLIN 需要重新设置为高电平（= 隐性），直到使能时间结束。
只有下一个显性位会在总线上传输。
LIN正常模式展示了LIN 启用的不同场景和解释。

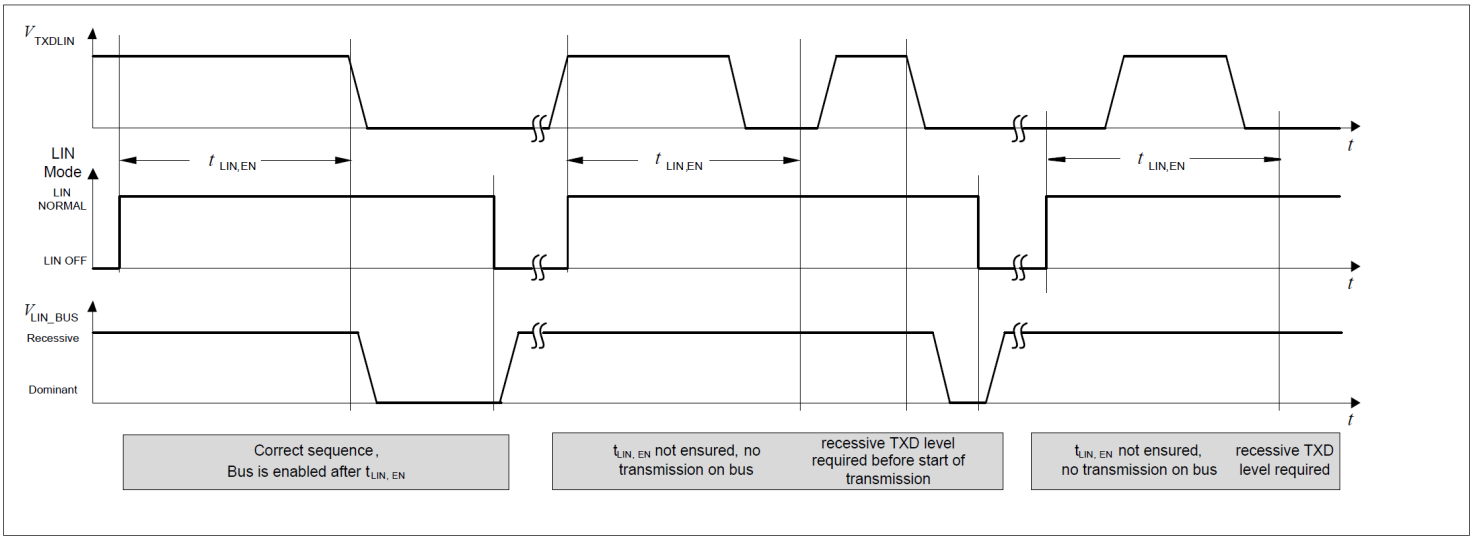


图 39 LIN收发器启用时序

减少的电磁辐射

为了降低电磁辐射*(EME)*，总线驱动器对称地控制LIN斜率。不同斜率的配置在斜率选择部分中进行了描述。

转换

模拟LIN 总线信号通过差分输入接收器在 RXD 处转换为数字信号。

11.2.3 LIN 仅接收模式

在*LIN* 仅接收模式（仅 RXD），驱动级被禁用，但仍可接收数据。此模式可通过*SBC* 正常模式和SBC停止模式下的*SPI*命令访问。

11.2.4 LIN可唤醒模式

通过 *SPI* 编程，此模式可在 *SBC* 的停止、休眠、重启和正常模式下使用，用于监控总线活动。在 SBC 故障安全模式下会自动进入此模式。如果 *LIN* 总线上出现从隐性到显性的转变，随后显性电平持续时间超过 tWK,Bus ，接着又出现从显性到隐性的转变，就会检测到唤醒。从显性到隐性的转变将导致 LIN 收发器唤醒。

一次唤醒会导致SBC的行为有所不同，如下文LIN可唤醒模式所述。作为向微控制器发出的信号，RXD_LIN 引脚始终为低电平，并将保持低电平直到LIN 收发器更改为任何其他模式。唤醒事件后，收发器可以切换到LIN 正常模式进行通信。

重新激活收发器以启用唤醒功能

总线唤醒事件后，收发器被唤醒。然而，LIN1 和LIN2 收发器模式位仍会显示唤醒功能（='01'），因此 RXD 信号将被拉低。在唤醒事件发生后，LIN 收发器的可唤醒模式再次启用：

- 必须先切换LIN 收发器模式，即切换到 LIN 正常模式、 LIN 仅接收模式或 LIN 关闭模式，然后才能再次切换到 LIN 唤醒功能模式。
- 当 SBC 切换到 SBC 停止模式 SBC 休眠模式或 SBC 故障安全模式时，会自动重新就绪，以确保具备唤醒能力。

在 SBC 停止和 SBC 正常模式下唤醒

在 SBC 停止模式下，如果检测到唤醒，会通过 INT 输出以及 SPI 的寄存器 WK_STAT_1 发出信号。同时，RXDLIN 置低电平也表示唤醒。SBC 正常模式下情况相同。微控制器应将设备设置为 SBC 正常模式，不会自动转换到正常模式。

出于功能安全原因， 看门狗将在SBC停止模式下唤醒后自动启用， 以防它之前被禁用（如果位 WD_EN_WK_BUS 之前配置为高电平。）

在 SBC 休眠模式下唤醒

通过 LIN 消息可以实现唤醒（滤波时间 t > tWK,Bus）。唤醒会自动将 SBC 转入重启模式，然后再进入正常模式，同时相应的 RXD 引脚被置为低电平。微控制器能够检测到 RXD 上的低电平信号，并通过 SPI 从寄存器 WK_STAT_1 中读取唤醒源。从休眠模式唤醒时不会产生中断。此时，微控制器可以通过 SPI 将 LIN 收发器切换到 LIN 正常模式，从而开始通信。

表 25　　LIN 总线唤醒引起的操作

SBC Mode	SBC Mode after Wake	VCC1	INT	RXD
Normal Mode	Normal Mode	ON	LOW	LOW
Stop Mode	Stop Mode	ON	LOW	LOW
Sleep Mode	Restart Mode	Ramping Up	HIGH	LOW
Restart Mode	Restart Mode	ON	HIGH	LOW
Fail-Safe Mode	Restart Mode	Ramping up	HIGH	LOW

11.2.5　　TXD 超时特点

如果 TXD 信号处于显性的时间 t > tTxD_LIN_TO，TXD 超时功能会暂时停用 *LIN* 发射器输出级。收发器保持隐性状态。TXD 超时功能可防止 LIN 总线因 TXD 引脚出现永久性低电平信号（由故障导致）而被阻塞。该故障会存储在 *SPI* 标志 LIN1_FAIL 和寄存器BUS_STAT_2 中。在显性超时条件解除后，LIN 发射器级会再次激活。收发器配置保持不变。

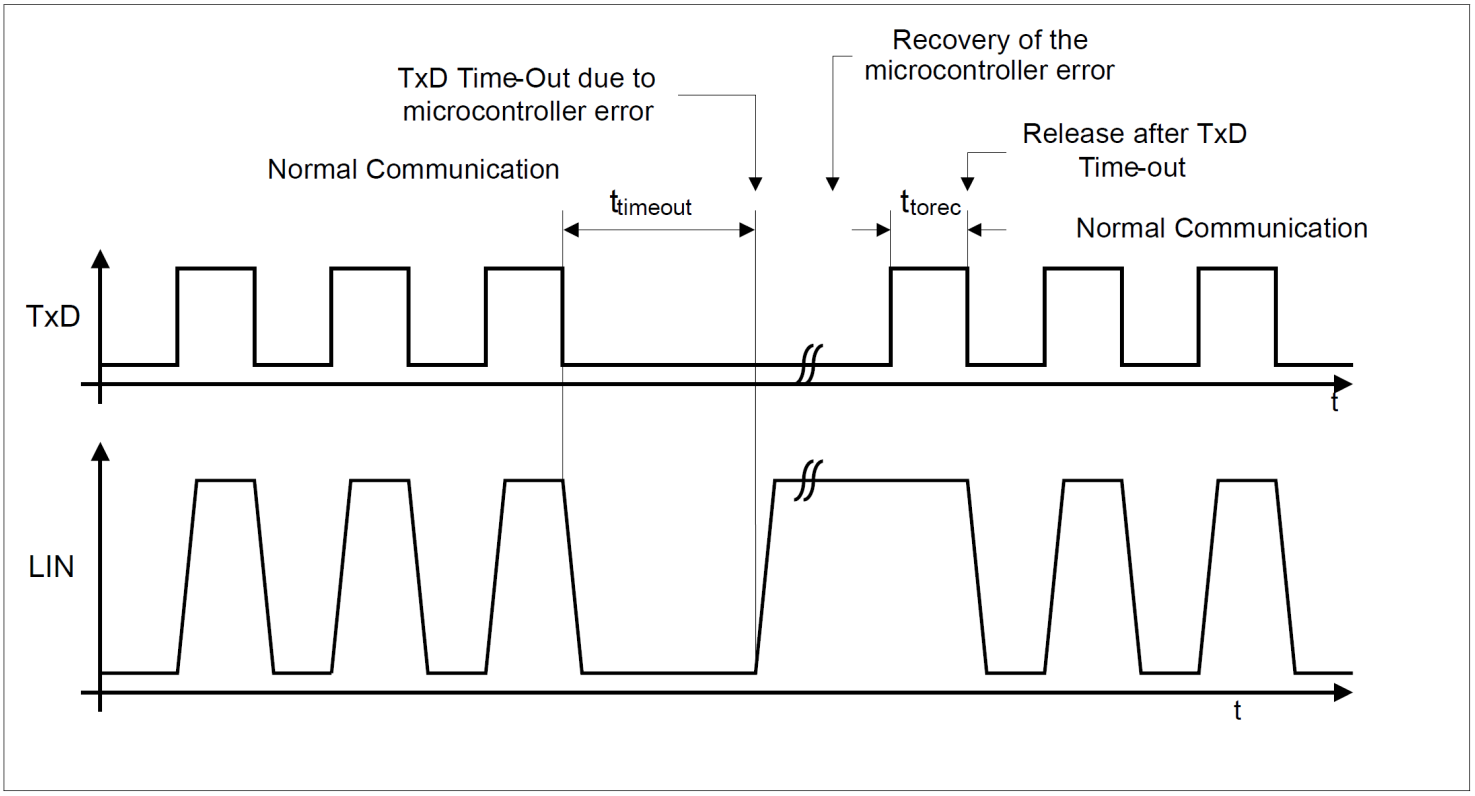


图 40　　TXD 超时函数

11.2.6　总线显性钳位

在*LIN*正常模式和只接收模式下，如果LIN总线信号处于显性状态的时间$t > t_{BUS_LIN_TO}$，那么就会检测到总线显性钳位，并且*SPI*位LIN1_FAIL以及寄存器BUS_STAT_2会被置位。收发器配置保持不变。

11.2.7　欠压检测

如果供电电压低于 VSHS 欠电压检测阈值 (VSHS < VSHS,UVD)，则禁用输出和接收器阶段。如果电源达到高于欠压检测阈值 (VSHS > VSHS,UVD)的水平，则继续正常运行。收发器配置保持不变。

11.2.8　斜率选择

LIN 收发器提供用于 10.4 kBaud 通信的LIN低斜率模式和用于 20 kBaud 通信的LIN正常斜率模式。唯一的区别是发射器的行为。在LIN低斜率模式下，发射器使用较低的斜率来进一步降低*EME* 与正常斜率模式相比，这符合 SAE J2602 标准。默认情况下，器件工作在LIN 正常斜率模式下。LIN选择低斜率模式是通过*SPI*位LIN_LSM 实现的。当 CSN 变为“高电平”时，此功能将立即生效。只有LIN 斜率已更改。仅可在*SBC* 正常模式下选择。

11.2.9　通过LIN进行 Flash 烧录

该器件允许*LIN* Flash烧录，另一个LIN从机的通信能力高达115 kb。启用这个功能可通过*SPI* 命令（位 LIN_FLASH）来禁用斜率控制机制，它将在 CSN 变为“高电平”时生效。SPI 可在*SBC* 正常模式下置位。

注释： *建议仅在标称供电电压VSHS = 13.5 V 时执行Flash 烧录，以确保稳定的数据通信。*

11.3 电气特性

表 26 电气特性

V_{SHS} = 5.5 V 至 18 V, T_j = -40°C 至 +150°C, RL = 500 Ω, 所有电压相对于地, 正向电流流入引脚 (除非另有规定)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Receiver Output (RXD pin)							
HIGH Level Output Voltage	$V_{RXD,H}$	0.8 × V_{CC1}	–	–	V	I_{RXD} = -1.6 mA; V_{Bus} = V_{SHS}	P_11.3.1
LOW Level Output Voltage	$V_{RXD,L}$	–	–	0.2 × V_{CC1}	V	I_{RXD} = 1.6 mA V_{Bus} = 0 V	P_11.3.2
Transmission Input (TXD pin)							
HIGH Level Input Voltage	$V_{TXD,H}$	0.7 × V_{CC1}	–	–	V	Recessive State	P_11.3.3
TXD Input Hysteresis	$V_{TXD,hys}$	0.08 × V_{CC1}	0.12 × V_{CC1}	0.5 × V_{CC1}	V	1)	P_11.3.4
LOW Level Input Voltage	$V_{TXD,L}$	–	–	0.3 × V_{CC1}	V	Dominant State	P_11.3.5
TXD Pull-up Resistance	R_{TXD}	20	40	80	kΩ	V_{TXD} = 0 V	P_11.3.6
***LIN* Bus Receiver LIN Pin**							
Receiver Threshold Voltage, Recessive to Dominant Edge	$V_{Bus,rd}$	0.4 × V_{SHS}	0.45 × V_{SHS}	–	V		P_11.3.7
Receiver Dominant State	$V_{Bus,dom}$	–	–	0.4 × V_{SHS}	V	LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 17	P_11.3.8
Receiver Threshold Voltage, Dominant to Recessive Edge	$V_{Bus,dr}$	–	0.55 × V_{SHS}	0.60 × V_{SHS}	V		P_11.3.9
Receiver Recessive State	$V_{Bus,rec}$	0.6 × V_{SHS}	–	–	V	LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 18	P_11.3.10
Receiver Center Voltage	$V_{Bus,c}$	0.475 × V_{SHS}	0.5 × V_{SHS}	0.525 × V_{SHS}	V	LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 19 6 V < V_{SHS} < 18 V	P_11.3.11
Receiver Hysteresis	$V_{Bus,hys}$	0.07 × V_{SHS}	0.1 × V_{SHS}	0.175 × V_{SHS}	V	$V_{bus,hys}$ = $V_{bus,dr}$ - $V_{bus,rd}$ LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 20	P_11.3.12
Wake-up Threshold Voltage	$V_{Bus,wk}$	0.40 × V_{SHS}	0.5 × V_{SHS}	0.6 × V_{SHS}	V	–	P_11.3.13
Dominant Time for Bus Wake-up	$t_{WK,Bus}$	30	–	150	µs	2)	P_11.3.14

（表格续下页.....）

表 26　　（续）电气特性

V_{SHS} = 5.5 V 至 18 V, T_j = -40°C 至 +150°C, RL = 500 Ω, 所有电压相对于地, 正向电流流入引脚 (除非另有规定)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
LIN Bus Transmitter LIN Pin							
Bus Serial Diode Voltage Drop	$V_{serdiode}$	0.4	0.7	1.0	V	1) V_{TXD} = VCC1; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 21	P_11.3.15
Bus Recessive Output Voltage	$V_{BUS,ro}$	0.8 × V_{SHS}	–	V_{SHS}	V	V_{TXD} = HIGH Level	P_11.3.16
Bus Short Circuit Current	$I_{BUS,sc}$	40	100	150	mA	V_{BUS} = 18 V; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 12	P_11.3.17
Leakage Current Loss of Ground	$I_{BUS,lk1}$	-1000	-450	20	µA	V_{SHS} = 12 V = GND; 0 V < V_{BUS} < 18 V; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 15	P_11.3.18
Leakage Current Loss of Battery	$I_{BUS,lk2}$	–	–	20	µA	V_{SHS} = 0 V; V_{BUS} = 18 V; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 16	P_11.3.19
Leakage Current Driver Off	$I_{BUS,lk3}$	-1	–	–	mA	V_{SHS} = 18 V; V_{BUS} = 0 V; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 13	P_11.3.20
Leakage Current Driver Off	$I_{BUS,lk4}$	–	–	20	µA	V_{SHS} = 8 V; V_{BUS} = 18 V; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 14	P_11.3.21
Bus Pull-up Resistance	R_{BUS}	20	30	47	kΩ	Normal Mode LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 26	P_11.3.22
LIN Input Capacitance	C_{BUS}		20	25	pF	1)	P_11.3.23
Receiver propagation delay bus dominant to RXD LOW	$t_{d(L),R}$	–	1	6	µs	V_{CC} = 5 V; C_{RXD} = 20 pF; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 31	P_11.3.24

（表格续下页……）

表 26　　（续）电气特性

V_{SHS} = 5.5 V 至 18 V, T_j = -40°C 至 +150°C, RL = 500 Ω, 所有电压相对于地, 正向电流流入引脚 (除非另有规定)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Receiver propagation delay bus recessive to RXD HIGH	$t_{d(H),R}$	–	1	6	µs	V_{CC} = 5 V; C_{RXD} = 20 pF; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 31	P_11.3.25
Receiver delay symmetry	$t_{sym,R}$	-2	–	2	µs	$t_{sym,R} = t_{d(L),R} - t_{d(H),R}$; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 32	P_11.3.26
LIN Transceiver Enabling Time	$t_{LIN,EN}$	8	13	18	µs	2) CSN = HIGH to first valid transmitted TXD dominant	P_11.3.27
Bus Dominant Time Out	$t_{BUS_LIN_TO}$	16	20	24	ms	1) 2)	P_11.3.28
TXD Dominant Time Out	$t_{TxD_LIN_TO}$	16	20	24	ms	1) 2) V_{TXD} = 0 V	P_11.3.29
TXD Dominant Time Out Recovery Time	t_{torec}	5	10	14	µs	1) 2)	P_11.3.30
Duty Cycle D1 (For worst case at 20 kbit/s) LIN 2.2/ISO 17987-4 Normal Slope	D1	0.396	–	–		3) $TH_{Rec}(max) = 0.744 \times V_{SHS}$; $TH_{Dom}(max) = 0.581 \times V_{SHS}$; V_{SHS} = 7.0 V … 18 V; t_{bit} = 50 µs; D1 = $t_{bus_rec(min)}/2\ t_{bit}$; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 27	P_11.3.31
Duty Cycle D2 (for worst case at 20 kbit/s) LIN 2.2/ISO 17987-4 Normal Slope	D2	–	–	0.581		3) $TH_{Rec}(min.) = 0.422 \times V_{SHS}$; $TH_{Dom}(min.) = 0.284 \times V_{SHS}$; V_{SHS} = 7.6 V … 18 V; t_{bit} = 50 µs; D2 = $t_{bus_rec(max)}/2\ t_{bit}$; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 28	P_11.3.32
Duty Cycle D3 (for worst case at 10.4 kbit/s) SAE J2602 Low Slope	D3	0.417	–	–		3) $TH_{Rec}(max) = 0.778 \times V_{SHS}$ $TH_{Dom}(max) = 0.616 \times V_{SHS}$; V_{SHS} = 7.0 V … 18 V; t_{bit} = 96 µs; D3 = $t_{bus_rec(min)}/2\ t_{bit}$; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 29	P_11.3.33

（表格续下页……）

表 26　　（续）电气特性

V_{SHS} = 5.5 V 至 18 V, T_j = -40°C 至 +150°C, RL = 500 Ω, 所有电压相对于地, 正向电流流入引脚 (除非另有规定)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Duty Cycle D4 (for worst case at 10.4 kbit/s) SAE J2602 Low Slope	D4	–	–	0.590		3) $TH_{Rec}(min.) = 0.389 \times V_{SHS}$; $TH_{Dom}(min.) = 0.251 \times V_{SHS}$; V_{SHS} = 7.6 V … 18 V; t_{bit} = 96 µs; D4 = $t_{bus_rec(max)}/2\ t_{bit}$; LIN 2.2/ISO 17987-4 Param 30	P_11.3.34

1) 未经过生产测试，由设计指定。
2) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
3) LIN 总线负载条件 2.2/ISO 17987-4 C_{LIN} 、 R_{LIN} = 1 nF、 1 kΩ/6.8 nF、 660 Ω/10 nF、 500 Ω。

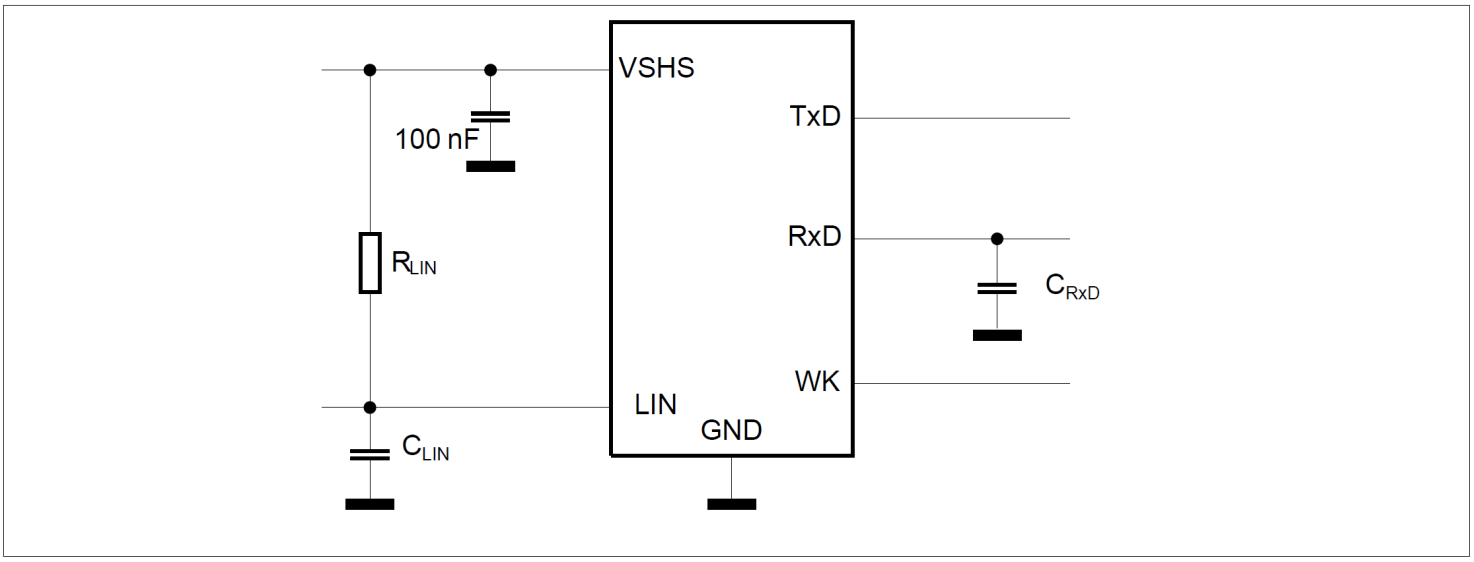


图 41　　动态特性简化测试电路

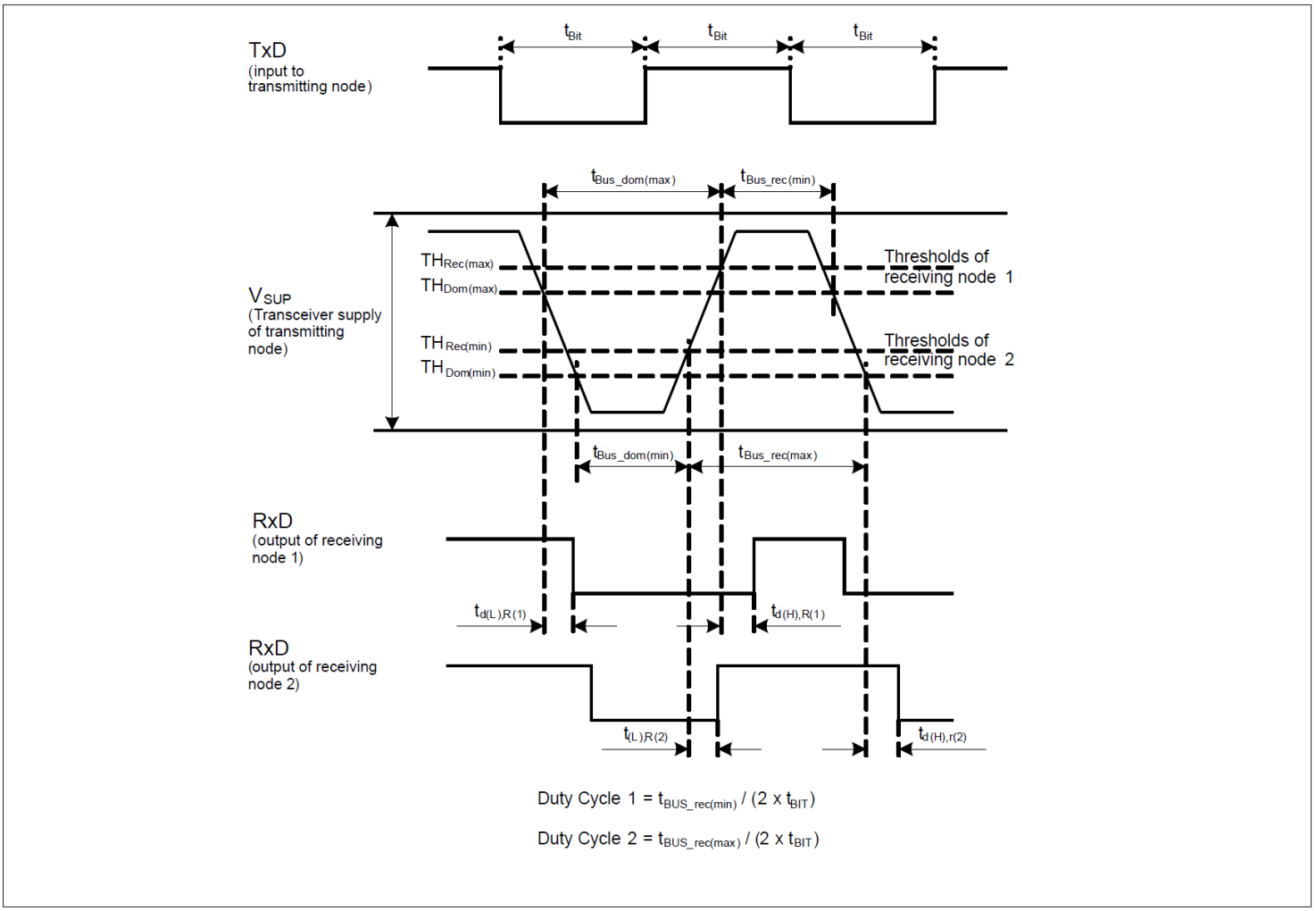

TxD
(input to transmitting node)
tBit
tBit
tBit
tBus_dom(max)
tBus_rec(min)
VSUP
(Transceiver supply of transmitting node)
THRec(max)
THDom(max)
THRec(min)
THDom(min)
Thresholds of receiving node 1
Thresholds of receiving node 2
tBus_dom(min)
tBus_rec(max)
RxD
(output of receiving node 1)
td(L),R(1)
td(H),R(1)
RxD
(output of receiving node 2)
t(L),R(2)
td(H),r(2)
Duty Cycle 1 = tBUS_rec(min) / (2 x tBIT)
Duty Cycle 2 = tBUS_rec(max) / (2 x tBIT)

图 42　　动态特性时序图

12 唤醒和电压监测输入

12.1 模块描述

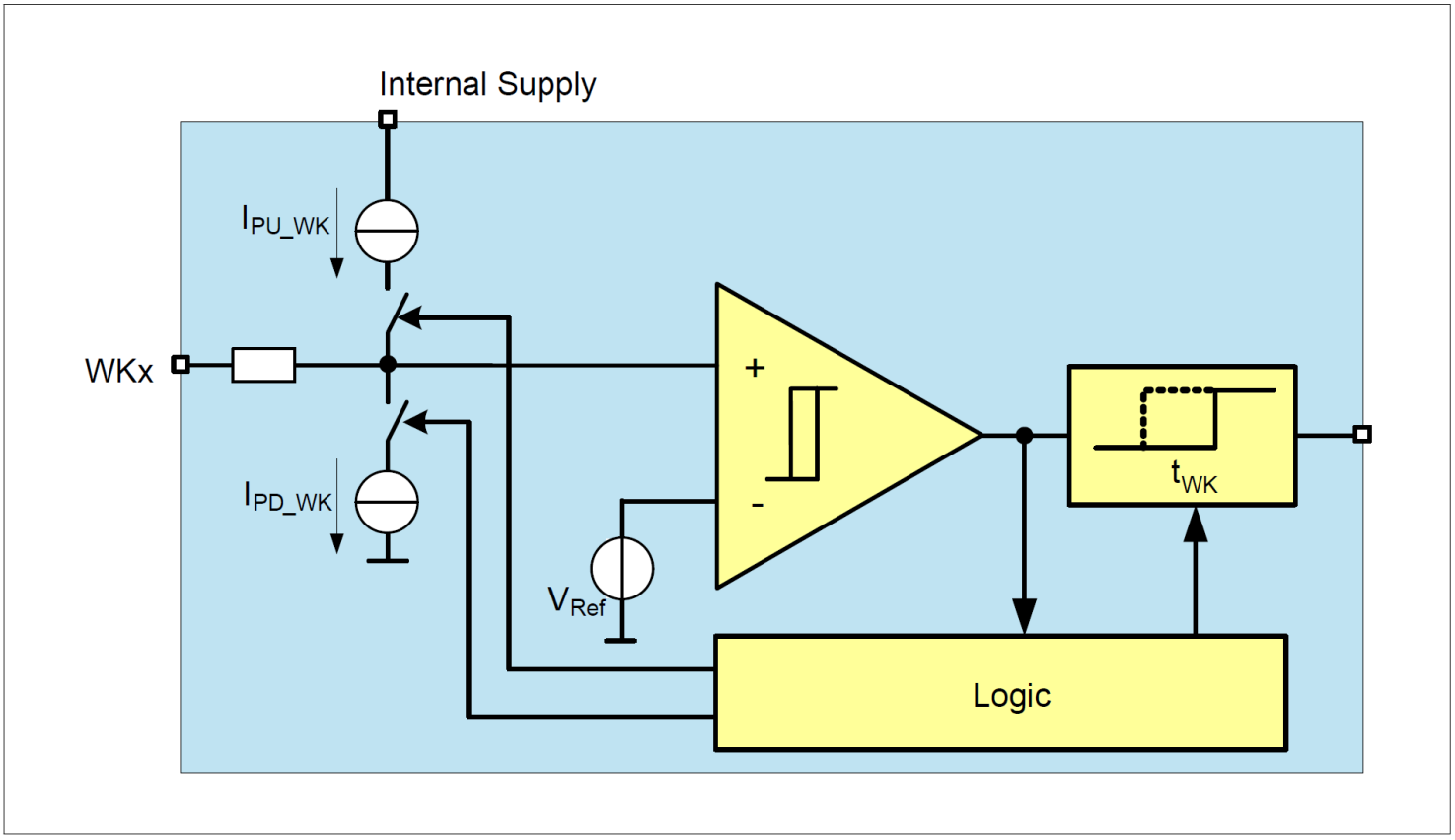


图 43 唤醒输入模块框图

特性

- 三个高压输入约3V阈值电压
- 通过 WK1 和 WK2 实现高压传感的替代测量功能
- 省电模式唤醒功能
- 边沿唤醒特性：上升和下降边沿
- 上拉和下拉电流源，可通过*SPI*配置
- 选择配置循环感应和循环检测使用定时器1或定时器2
- 在 *SBC* 正常模式和 SBC 停止模式下，即使相应的 WK 引脚未被设为唤醒源，也可通过 SPI 读取 WK 引脚的电平。

12.2 功能描述

唤醒输入引脚是边沿感应型输入，其阈值通常为 3V。这意味着从高电平到低电平以及从低电平到高电平的两种转换，都会使 *SBC* 发出信号。在 SBC 正常模式和停止模式下，该信号表现为触发中断；在 SBC 休眠模式和故障安全模式下，则表现为唤醒设备。

可通过 *SPI* 选择两种不同的唤醒检测模式：

- 静态检测：唤醒输入始终处于激活状态
- 循环检测：唤醒输入仅在特定时间段内激活（参见循环检测）

在静态检测配置中，可以选择 16 µs 或 64 µs 两种不同的滤波时间，以避免由于瞬态或*EMC*干扰引起的寄生唤醒。

滤波时间（tFWK1，tFWK2）由电平变化超过切换阈值触发，如果在选定的滤波时间内输入电平不会再次超过阈值，则会识别出唤醒信号。

图 44 展示了典型的唤醒时序和寄生滤波。

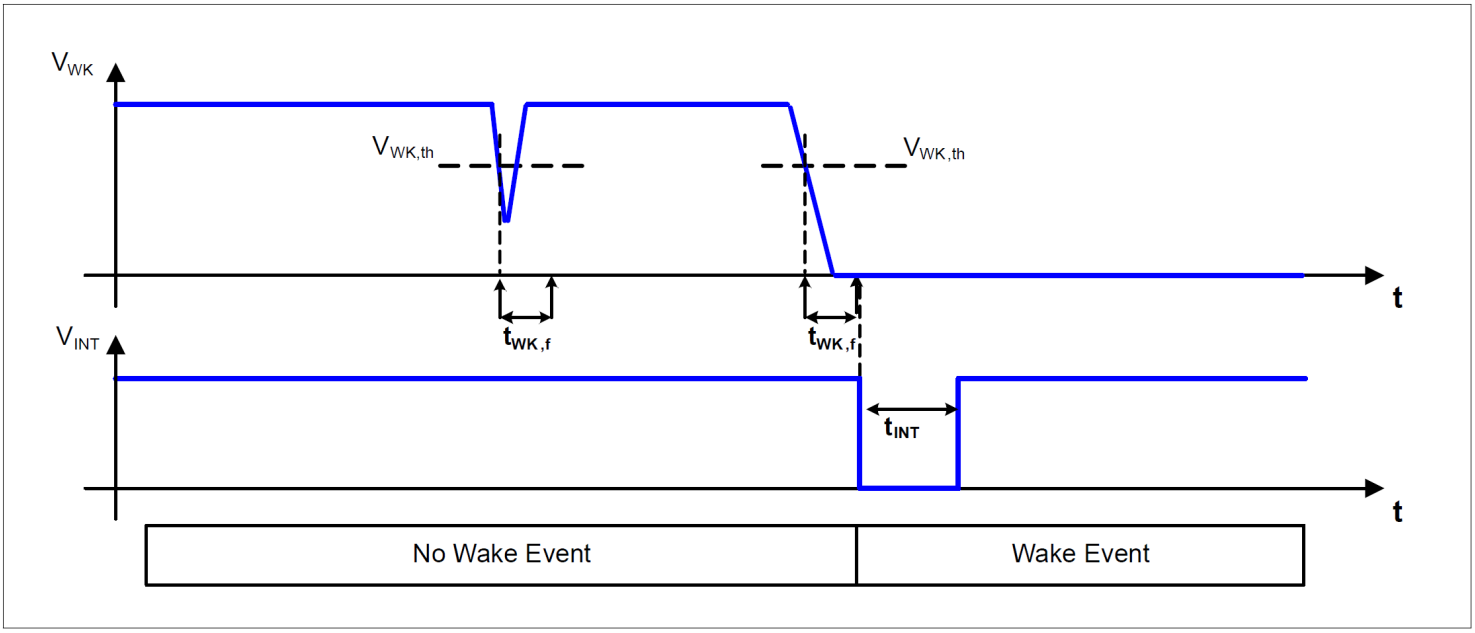


图 44 静态检测的唤醒滤波器时序

每个WK引脚的唤醒功能可通过SPI命令在寄存器WK_CTRL_2中进行启用或禁用设置。

通过 WKx 引脚唤醒的唤醒源始终可以在寄存器 WK_STAT_1 的位 WK1_WU、WK2_WU 和 WK3_WU 处读取。

在SBC正常模式和停止模式下，始终可以从寄存器WK_LVL_STAT中读取WK引脚的实际电压电平（低电平或高电平）。在循环检测期间，该寄存器显示相应WK引脚的采样电平。

如果 FO2...3 配置为 WK 输入，则其替代功能（16 µs 静态滤波时间）中将发出唤醒事件信号到寄存器WK_STAT_2。

12.2.1 唤醒输入配置

为确保内部比较器输入处有确定且稳定的电压电平，可通过*SPI*寄存器WK_PUPD_CTRL配置集成电流源。此外，唤醒检测模式（包括滤波时间）可通过SPI寄存器WK_FLT_CTRL进行配置。自动切换配置的示例说明见图45。

表 27　　上拉/下拉电阻

WKx_PUPD_1	WKx_PUPD_0	Current Sources	Note
0	0	No current source	WKx input is floating if left open (default setting)
0	1	Pull-down	WKx input internally pulled to GND
1	0	Pull-up	WKx input internally pulled to internal 5V supply
1	1	Automatic switching	If a high level is detected at the WKx input the pull-up source is activated, if low level is detected the pull down is activated.

注释： *如果WK输入上没有配置上拉或下拉，则相应的输入应与板上的接地或VS连接，以避免引脚意外浮动和后续唤醒事件。*

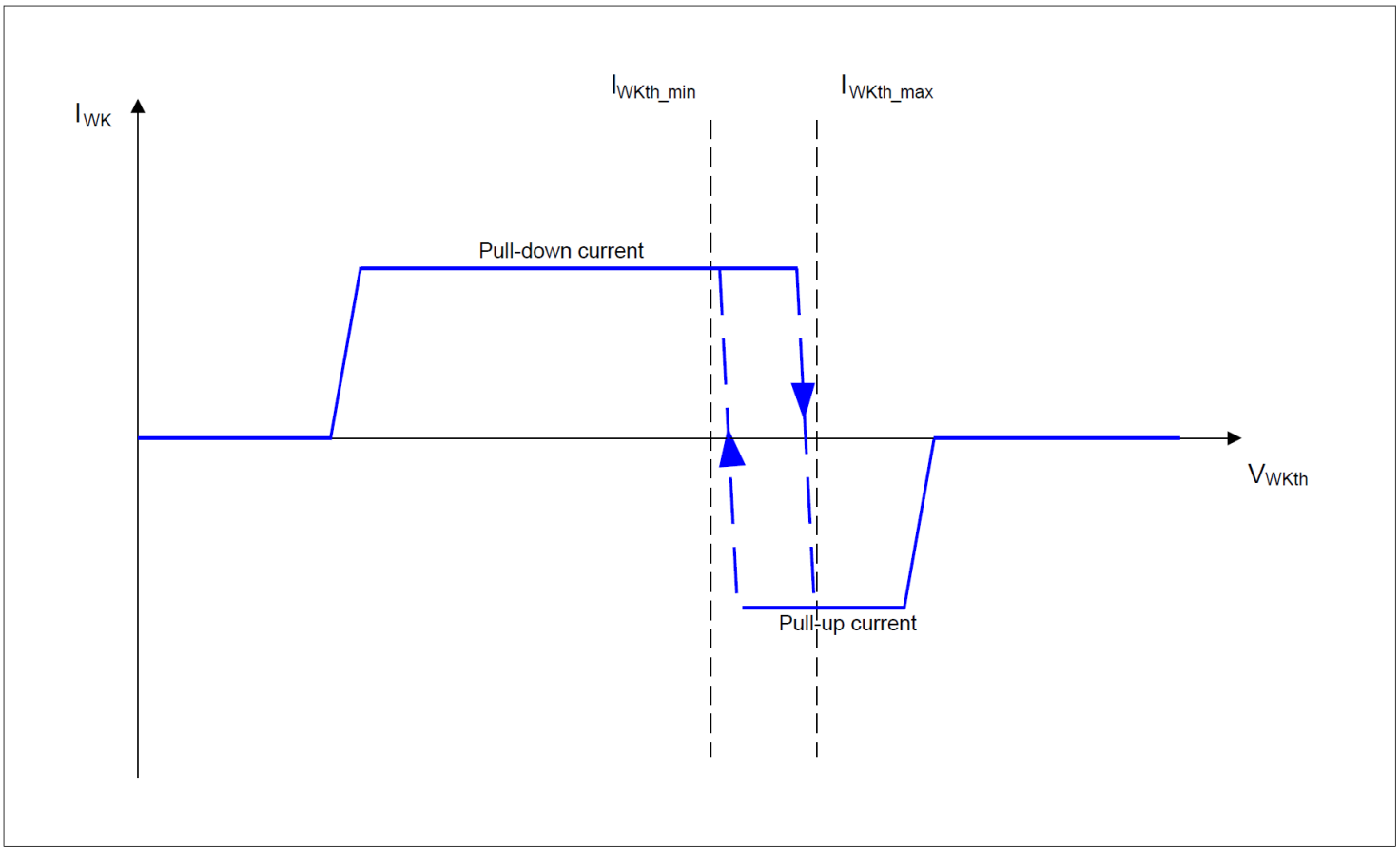


图 45　　具有自动切换配置的上拉/下拉电流源示意图

表 28　　唤醒检测配置和滤波时间

WKx_FLT_1	WKx_FLT_0	Filter Time	Description
0	0	Config A	Static sense, 16 µs filter time
0	1	Config B	Static sense, 64 µs filter time
1	0	Config C	Cyclic sense, Timer 1, 16 µs filter time. Period, On-time configurable in Register TIMER1_CTRL
1	1	Config D	Cyclic sense, Timer 2, 16 µs filter time. Period, On-time configurable in Register TIMER2_CTRL

配置 A 和 B 旨在用于静态检测，具有两种不同的滤波时间。

配置 C 或 D 用于循环检测配置。通过滤波器设置，相应的定时器需要分配给一个或多个 HS 输出，该输出为连接到 WKx 引脚的外部电路供电，例如，由定时器 2 (HS1 = 010) 控制的 HS1 并通过切换电路连接到 WK3 - 另请参阅唤醒特性。

12.2.2 WK1 和 WK2 的交替测量功能

12.2.2.1 模块描述

此功能可利用受保护的WK1高压输入来测量电压，比如未缓冲的电池电压。测量所得电压会从WK2输出。例如，这使得通过改变高端输出的占空比，对*发光二极管（LED）*照明进行电压补偿成为可能。外部需设置一个简单的分压器，以便为微控制器的模数转换器输入提供正确的电压电平。

该功能在 *SBC* 正常模式下可用，在所有其他模式下均被禁用，以实现低静态电流运行。测量功能可以替代 WK1 和 WK2 唤醒和电平信号功能。

该功能的优点是信号由高压输入引脚测量，并且在低功耗模式下没有电流流过电阻分压器。

该功能在图 65 的简化应用示意图中展示。

12.2.2.2 功能描述

此测量功能默认禁用。在这种情况下，WK1 和 WK2 具有常规的唤醒和电压电平信号功能。开关 S1 在此配置中处于打开状态（参见图 65）。

测量功能可以通过*SPI* 位 WK_MEAS 启用。

如果WK_MEAS 设置位为“1”，则测量功能启用，并且在SBC正常模式下，开关 S1 闭合。在所有其他SBC模式下，S1 断开。如果启用此功能，则 WK1 和 WK2 的上拉和下拉电流将被禁用，并且内部 WK1 和 WK2 信号将被导通。此外，寄存器 WK_PUPD_CTRL ,寄存器 WK_FLT_CTRL 和寄存器 WK_CTRL_2 中WK1 和 WK2 的设置会被忽略，但无法阻止更改这些设置。

寄存器 WK_STAT_1和寄存器 WK_LVL_STAT 未根据输入 WK1 和 WK2 进行更新。

然而，如果仅将 WK1 或 WK2 设置为唤醒源，并且下达了 *SBC* 休眠模式命令，那么 SPI_FAIL 标志将被置位，SBC 会进入 SBC 重启模式（关于 WK1 和 WK2 的唤醒能力，也可参考状态机模块描述）。

表 29 正常唤醒功能与测量功能之间的差异

Affected Settings/Modules for WK1 and WK2 Inputs	WK_MEAS **= 0**	WK_MEAS **= 1**
S1 configuration	‘Open’	‘Closed’ in SBC Normal Mode, ‘Open’ in all other SBC Modes
Internal WK1 and WK2 signal processing	Default wake and level signaling function, Register WK_STAT_1, Register WK_STAT_2 are updated accordingly	‘WK1…2 inputs are gated internally, Register WK_STAT_1, Register WK_STAT_2 are not updated
WK1_EN, WK2_EN	Wake-up via WK1 and WK2 possible if bits are set	Setting the bits is ignored and not prevented. If only WK1_EN, WK2_EN are set while trying to go to SBC Sleep Mode, then the SPI_FAIL flag will be set and the SBC will be changed into SBC Restart Mode
Register WK_PUPD_CTRL	Normal configuration is possible	No pull-up or pull-down enabled
Register WK_FLT_CTRL	Normal configuration is possible	Setting the bits is ignored and not prevented

注释：　开关S1 串联了一个二极管（图 65 中未显示），这会影响开关的温度特性。

12.3 电气特性

表 30 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C ; 所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
WK1...WK3 Input Pin Characteristics							
Wake-up/monitoring threshold voltage	V_{WKth}	2	3	4	V	Without external serial resistor R_S (with R_S: $\Delta V = I_{PD/PU} \times R_S$); hysteresis included	P_12.3.1
Threshold hysteresis	$V_{WKNth,hys}$	0.1	-	0.7	V	Without external serial resistor R_S (with R_S: $\Delta V = I_{PD/PU} \times R_S$)	P_12.3.2
WK pin Pull-up Current	I_{PU_WK}	-20	-10	-3	µA	V_{WK_IN} = 4 V	P_12.3.3
WK pin Pull-down Current	I_{PD_WK}	3	10	20	µA	V_{WK_IN} = 2 V	P_12.3.4
Input leakage current	$I_{LK,I}$	-2		2	µA	0 V < V_{WK_IN} < 40 V	P_12.3.5
Drop Voltage across S1 switch	$V_{Drop,S1}$	–	1000	1100	mV	1) Drop Voltage between WK1 and WK2 when enabled for voltage measurement; I_{WK1} = 500 µA; T_j = 25°C Refer to Figure 46	P_12.3.13
Timing							
Wake-up filter time 1	t_{FWK1}	12	16	20	µs	2) *SPI* Setting	P_12.3.6
Wake-up filter time 2	t_{FWK2}	50	64	80	µs	2) SPI Setting	P_12.3.7

1) 未经过生产测试，由设计指定。
2) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。

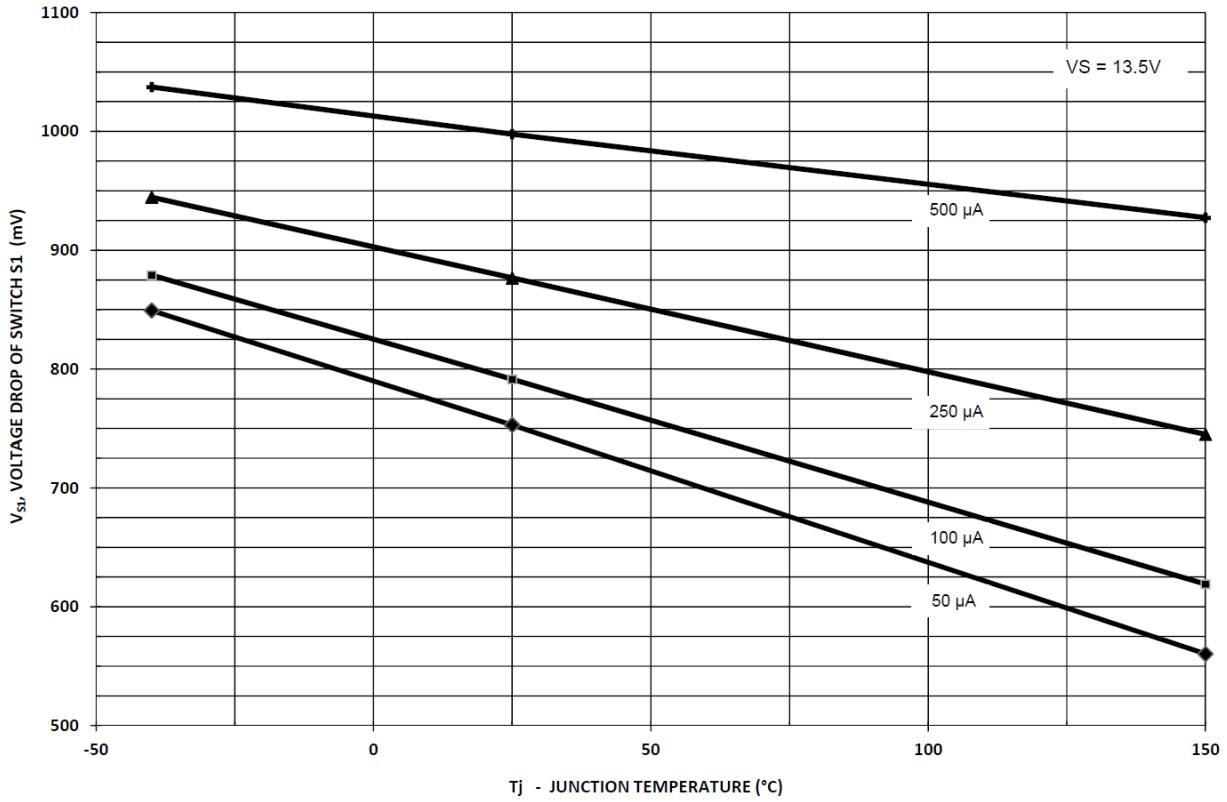


图 46　　S1（WK1 和 WK2 之间）的典型压降特性

13 中断功能

13.1 模块和功能描述

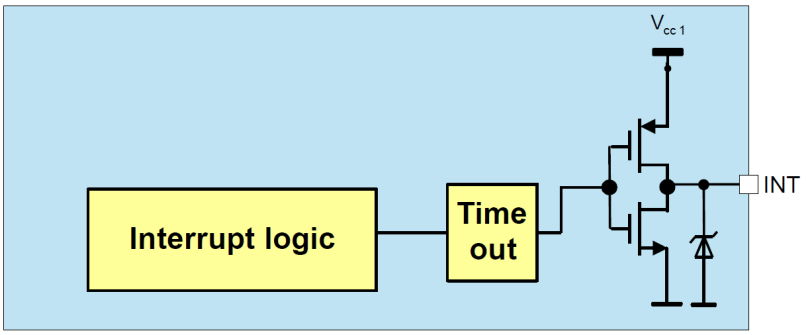


图 47 中断框图

中断用于实时向微控制器发出特殊事件信号。如图47所示，中断模块设计为推挽输出级。在SBC正常模式和停止模式下，触发中断时，INT引脚会被拉低（低电平有效），持续时间为tINT，时间一到便会再次释放。两次连续中断之间，INT引脚的最小高电平时间为tINTD。中断不会导致SBC模式改变。

可以通过*SPI* 位 INT_GLOBAL 选择两种不同的中断：

- 1类（唤醒中断 - INT_GLOBAL = 0）：存储在唤醒状态SPI（寄存器WK_STAT_1和寄存器WK_STAT_2）中的所有唤醒事件都会引发中断（默认设置）。仅当相应功能也被启用为唤醒源时（若GPIOx配置为唤醒输入，也包括在内），才会触发中断。*CAN*超时信号CANTO也被视为唤醒源。因此，中断屏蔽位CANTO_MASK的优先级高于位INT_GLOBAL，即对于CANTO，不考虑INT_GLOBAL。
- 2类（全局中断 - INT_GLOBAL =1）：除了唤醒事件之外，存储在其他状态寄存器中的所有有信号的故障都会导致中断（寄存器 WK_LVL_STAT 未产生中断）

注释： *会导致SBC重启或SBC故障安全模式（Vcc1_欠压、看门狗故障、VCC1短路、TSD2、故障）的错误是状态位产生中断的例外情况。此外，上电复位（POR）以及DEV_STAT_x也不会产生中断。*

除此之外，当SBC进入停止模式，且寄存器WK_STAT_1和寄存器WK_STAT_2中的所有位未被清零时，也会触发中断。

SPI状态寄存器在INT脉冲的每个下降沿更新。所有中断事件都存储在相应寄存器中（寄存器WK_LVL_STAT除外），直至通过SPI命令读取并清除该寄存器。在读取相应状态寄存器后，再次读取SPI是可选操作，但建议进行，以确认中断事件不再存在。图48展示了1类中断的中断行为。2类中断的行为与之相同。

INT 引脚还在SBC初始化模式期间用于选择器件的硬件配置。参见器件配置和 SBC初始化模式，了解更多信息。

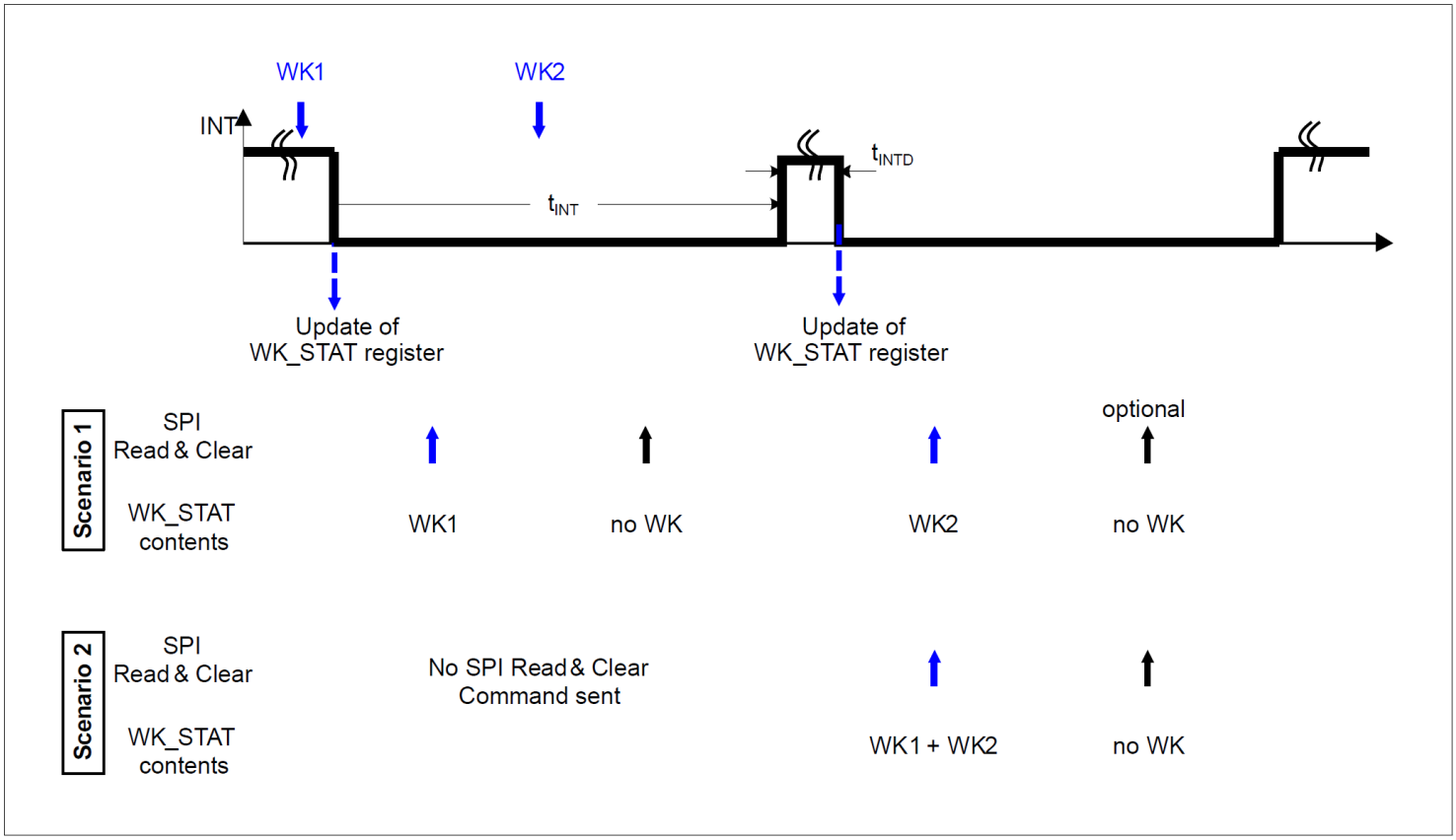

WK1
WK2
INT
t_{INTD}
t_{INT}
Update of
WK_STAT register
Update of
WK_STAT register
Scenario 1
SPI
Read & Clear
WK_STAT
contents
WK1
no WK
WK2
optional
no WK
Scenario 2
SPI
Read & Clear
WK_STAT
contents
No SPI Read & Clear
Command sent
WK1 + WK2
no WK

图 48　　中断信号行为

13.2 电气特性

表 31 电气特性

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Interrupt Output; Pin INT							
INT High Output Voltage	$V_{INT,H}$	0.8 × V_{CC1}	–	–	V	1) I_{INT} = -1 mA; *INT* = *OFF*	P_13.2.1
INT Low Output Voltage	$V_{INT,L}$	–	–	0.2 × V_{CC1}	V	1) I_{INT} = 1 mA; *INT* = ON	P_13.2.2
INT Pulse Width	t_{INT}	80	100	120	µs	2)	P_13.2.3
INT Pulse Minimum Delay Time	t_{INTD}	80	100	120	µs	2) Between consecutive pulses	P_13.2.4
Configuration Select; Pin INT							
Config Pull-down Resistance	R_{CFG}	180	250	350	kΩ	V_{INT} = 5 V	P_13.2.5
Config Select Filter Time	t_{CFG_F}	5	10	14	µs	2)	P_13.2.6

1) 输出电压值还决定SBC初始化模式期间的器件配置。
2) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。

14 故障输出

14.1 模块和功能描述

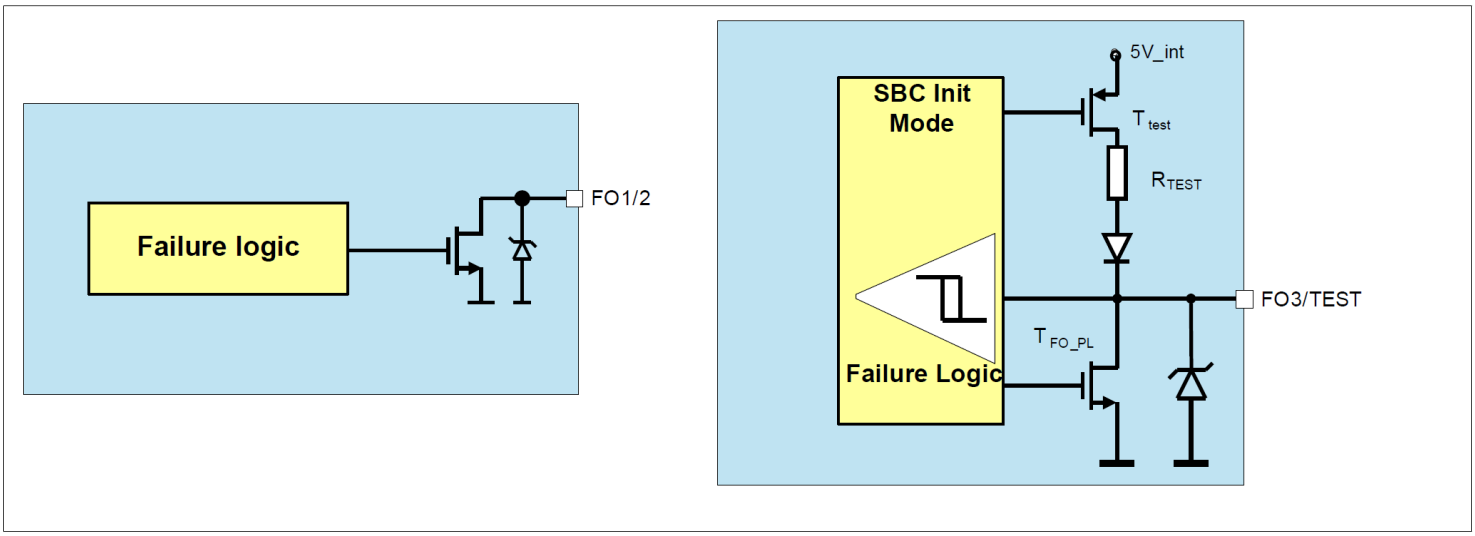


图 49 FO1/2 和 FO3/TEST 的简化故障输出框图

故障输出由一个故障逻辑功能块和三个带激活低信号的开路漏极输出（FO1、FO2、FO3）组成。

故障输出会在以下故障情况下激活：

- 看门狗触发失败
  （配置 3 和 4 仅在第二次看门狗触发失败后执行，配置 1 和 2 仅在第一次看门狗触发失败后执行）
- 热关断 TSD2
- VCC1 short to GND
- VCC1 过压（*SPI* 位VCC1_OV_RST 置位）
- 连续 4 次 VCC1 欠压事件后（详见VCC1 过压/欠压和欠压预警）

同时，进入*SBC*故障安全模式（根据所选配置，看门狗触发故障属于例外情况 - 详见设备配置和SBC初始化模式）。

故障数据输出置位SPI位FAILURE在寄存器DEV_STAT中记录。

仅出于测试目的，可通过SPI设置FO_ON位来激活故障输出。该位与故障输出的故障位相互独立。在无故障条件的情况下，也可通过SPI再次关闭故障输出，即无需成功触发看门狗。

因看门狗故障而进入SBC故障安全模式的情况，可按照设备配置与SBC初始化模式中的描述进行配置。

为了在SBC正常模式下禁用故障输出，故障条件必须不再存在（例如，TSD2、VCC1 短路等），并且位FAILURE 需要通过SPI命令进行清除。如果看门狗发生故障，停用故障输出的正确程序是：

- *WD* 触发成功，即 WD_FAIL必须清除
- 清除FAILURE位

当由于其他故障（非看门狗故障）而进入SBC休眠模式或SBC故障安全模式时，或者如果在SBC停止模式下看门狗被禁用，WD_FAIL（看门狗故障标志位）也将被清除。

注释： *故障输出引脚会因上述任何故障而被触发。如果选择 配置2，则第1 次看门狗故障不会置位 FAILURE。*

三个故障输出同时使用，有以下输出功能：

- FO1：静态故障输出
- FO2：1.25 Hz，50%（典型值）例如，占空比，用于生成指示信号
- FO3：100 Hz *PWM* ，20%（典型值）占空比，例如，用刹车灯产生的尾灯。

注释： *FO3 的占空比可以通过*SPI *配置 20%、10%、5% 或2.5%。默认值为20%。 请参阅*FO_DC *配置。*

14.1.1 FO2 和 FO3 的通用 I/O 功能作为替换功能

如果应用中未使用 FO2 和 FO3，则这些引脚也可以配置为具有替换功能的高压（VSHS 相关）通用*输入/输出（I/O）*引脚。

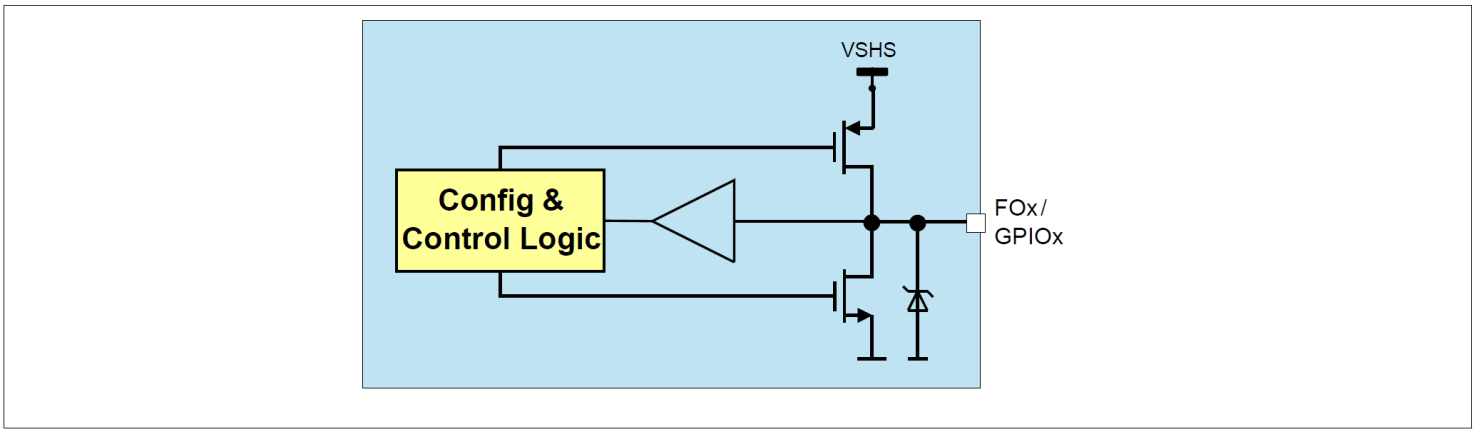


图 50 FO2 和 FO3/TEST 的简化通用 I/O 框图

引脚默认配置为FO引脚。配置通过*SPI*寄存器 GPIO_CTRL 完成。替换功能可以是：

- 唤醒输入：检测阈值VGPIOI,th 与 WK 输入类似。唤醒检测行为与 WKx 引脚相同。唤醒事件存储在寄存器 WK_STAT_2。
- 低边开关：该开关能够驱动高达 10mA 的电流（另见VGPIOL,L1）。它具有限流自保护功能。未实现其他诊断功能。
- 高边开关：该开关可驱动高达 10mA 的电流（另见VGPIOH,H1）。它具有限流自保护功能。未实现其他诊断功能。
- 如果配置为*GPIO*，那么引脚上的相应电平将在*SBC* 正常模式和停止模式下显示在寄存器 WK_LVL_STAT中。如果配置为 LS/HS，情况也是如此，并且可以作为相应状态的反馈。GPIO2 与 TEST 电平位共享。

表 32 描述 FO/GPIO在不同配置SBC模式中的表现。

表 32 各个SBC模式期间的FO和GPIO配置行为

FOx Configuration	SBC Normal Mode	SBC Stop Mode	SBC Sleep Mode	SBC Restart Mode	SBC Fail-Safe Mode
FOx (default)	Configurable	Fixed	Fixed	active/fixed	active
OFF	Configurable	OFF	OFF	OFF	OFF

（表格续下页……）

表 32 （续）各个SBC模式期间的FO和GPIO配置行为

FOx Configuration	SBC Normal Mode	SBC Stop Mode	SBC Sleep Mode	SBC Restart Mode	SBC Fail-Safe Mode
Wake Input	Configurable	Wake capable	Wake capable	Wake capable	OFF
Low-Side	Configurable	Fixed	Fixed	OFF	OFF
High-Side	Configurable	Fixed	Fixed	OFF	OFF

FO/GPIO 解释：

- 可配置：在此 SBC 模式下可以更改设置
- 固定：SBC 正常模式中的设置将保持不变
- 激活：由于故障导致SBC重启或故障安全模式，FOx 被激活

重启行为：

SBC重启和故障安全模式期间的行为，以及向SBC正常模式的转换过程如下：

- 如果配置为唤醒输入：在SBC重启模式下它将保持唤醒能力，在SBC故障安全模式下则处于关闭状态。当SBC离开重启模式时，它将恢复唤醒能力，此时SPI寄存器不会被修改
- 如果配置为低边或高端输出：在SBC重启和故障安全模式期间，它们将被禁用。离开SBC重启模式后，将恢复先前配置的功能，SPI寄存器不会被修改
- 如果配置为 FO 且因故障而激活：FO 将在SBC重启模式期间保持激活状态，并且在进入SBC正常模式时， SPI寄存器不会被修改

注释：

1. *为避免意外进入SBC开发模式，在设备上电及SBC初始化模式期间，务必确保FO3/TEST引脚电平为高。*
2. *FOx 驱动通过VS 供电。然而，GPIO HS 开关（FO2、FO3/TEST）由VSHS 供电。*

14.2 电气特性

表33 电气特性

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。 1)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
P in FO 1							
Pin FO 1							
FO1 low output voltage (active)	$V_{FO,L1}$	–	–	1.0	V	I_{FO} = 4 mA	P_14.2.1
FO1 high output current (inactive)	$I_{FO,H}$	0	–	2	µA	V_{FO} = 28 V	P_14.2.2
Pin FO 2							
FO2 side indicator frequency	f_{FO2SI}	1.00	1.25	1.50	Hz	3)	P_14.2.3
FO2 side indicator duty cycle	d_{FO2SI}	45	50	55	%	3)	P_14.2.4
Pin FO3/TEST 2)							
Pull-up Resistance at pin FO3/TEST	R_{TEST}	2.5	5	10	kΩ	V_{TEST} = 0 V; SBC Init Mode	P_14.2.5
TEST Input Filter Time	t_{TEST}	50	64	80	µs	3)	P_14.2.6
FO3 pulsed light frequency	f_{FO3PL}	80	100	120	Hz	3)	P_14.2.7
FO3 pulsed light duty cycle	d_{FO3PL}	16	20	24	%	3) 4) Default setting	P_14.2.8
Alternate FO2...3 Electrical characteristics: GPIO							
GPIO low-side output voltage (active)	$V_{GPIOL,L1}$	–	–	1	V	I_{GPIO} = 10 mA	P_14.2.9
GPIO low-side output voltage (active)	$V_{GPIOL,L2}$	–	–	5	mV	5) I_{GPIO} = 50 µA	P_14.2.17
GPIO high-side output voltage (active)	$V_{GPIOH,H1}$	VSHS-1	–	–	V	I_{GPO} = -10 mA	P_14.2.10
GPIO high-side output voltage (active)	$V_{GPIOH,H2}$	VSHS-5	–	–	mV	5) I_{GPO} = -50 µA	P_14.2.18
GPIO input threshold voltage	$V_{GPIOI,th}$	1.5	2.5	3.5	V	6) Hysteresis included	P_14.2.11
GPIO input threshold hysteresis	$V_{GPIOI,hys}$	100	400	700	mV	5)	P_14.2.12

（表格续下页.....）

表 33 （续）电气特性

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。*1)*

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
GPIO low-side current limitation	$I_{GPIOL,max}$	10	–	30	mA	V_{GPIO} = 28 V	P_14.2.13
GPIO high-side current limitation	$I_{GPIOH,max}$	-45	–	-10	mA	V_{GPIO} = 0 V	P_14.2.14

1) FOx 驱动通过 VS 供电。然而，*GPIO* HS 开关（FO2、FO3/TEST）由 VSHS 供电。
2) 为确保正确检测 SBC 开发模式和 SBC 用户模式，此引脚上的外部电容必须限制在 10 nF 以下。
3) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
4) 占空比可通过*SPI* 位FO_DC调节。
5) 未经过生产测试，由设计指定。
6) 也适用于TEST输入电压等级。

15 监控功能

15.1 复位功能

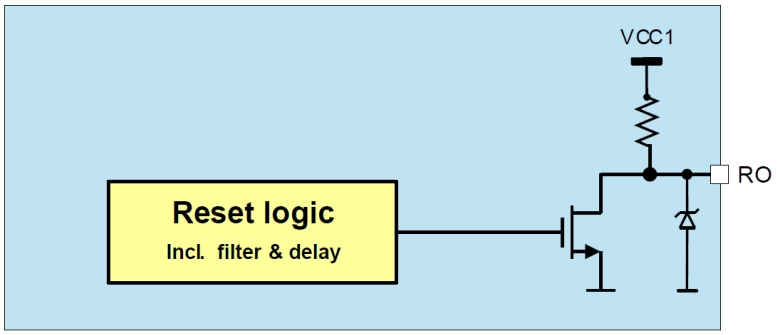


图 51 复位框图

15.1.1 复位输出描述

例如，在输出电压低于欠压阈值$V_{RT1/2/3/4}$的情况下，复位输出引脚RO 向微控制器提供复位信息。如果发生复位事件，复位输出 RO 在触发时间tRF之后被拉至低电平。只要反射事件存在，加上反射延迟时间tRD1，该值就保持较低。连接*SBC* 到电池电压时，复位信号最初保持低电平。当输出电压V_{cc1}达到复位默认阈值VRT1,r，复位输出RO在复位延迟时间tRD1后被释放为高电平。复位也可能由于看门狗触发失败而发生。复位阈值可通过*SPI*调整，默认复位阈值为VRT1,f。RO 引脚具有集成的上拉电阻。如果复位被触发，在Vcc1 ≥ 1V 且 VS ≥ VPOR,f 的条件下，RO将被拉低（另见VS 上电复位）。

关于VCC1欠压和看门狗触发的复位（RO）触发时序如图52所示。

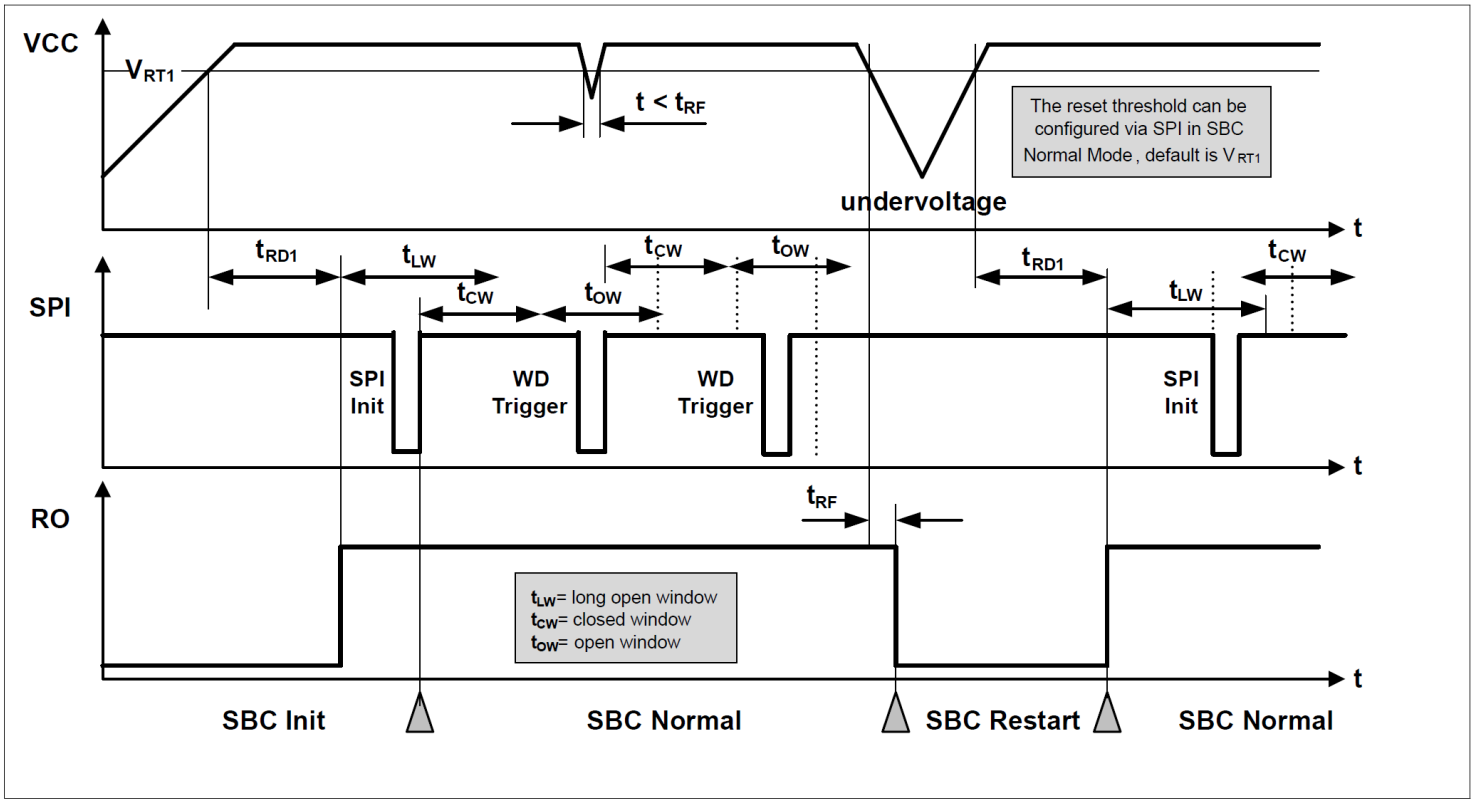


图 52　　复位时序图

15.1.2　　软复位描述

在*SBC*正常模式和停止模式下，若出现故障，也可通过*SPI*命令触发设备内部复位，使SBC进入确定状态。此时，微控制器必须发送SPI命令，并将寄存器M_S_CTRL中的MODE位设置为“11”。该命令一旦生效，SBC即返回SBC初始化模式，所有SPI寄存器都将设置为默认值（详见SPI控制寄存器和SPI状态信息寄存器）。

通过 SPI 位 SOFT_RESET_RO 可以实现两种不同的软复位配置：

- 执行软复位时（默认设置，应用相同的复位延迟时间tRD1），复位输出（RO）会被触发。
- 执行软复位时，复位输出 (RO) 不会被触发

注释： *发送此命令时，器件必须位于*SBC *正常模式或*SBC *停止模式。否则，该命令将被忽略。*

15.2　　看门狗功能

看门狗用于监测微控制器的软件执行情况，并在微控制器由于软件锁定而停止为看门狗提供服务时触发复位。

实现了两种不同类型的看门狗功能，可以通过 WD_WIN 位进行选择：

- 超时看门狗（默认值）
- 窗口看门狗

相应的看门狗功能可在*SBC*正常模式下选择并编程。在SBC停止模式下，该配置保持不变。

请参考表 34，以将SBC模式与器对应的看门狗模式进行匹配。

表 34 SBC不同模式下的看门狗功能

SBC Mode	Watchdog Mode	Remarks
INIT Mode	Starts with Long Open Window	Watchdog starts with Long Open Window after RO is released
Normal Mode	*WD* Programmable	Window Watchdog, Time-Out watchdog or switched OFF for SBC Stop Mode
Stop Mode	Watchdog is fixed or OFF	
Sleep Mode	OFF	SBC will start with Long Open Window when entering SBC Normal Mode.
Restart Mode	OFF	SBC will start with Long Open Window when entering SBC Normal Mode.

看门狗配置使用*SPI*命令。一旦看门狗被配置，定时器就会以新的设置启动，并且必须喂狗。通过向看门狗配置寄存器发送有效的SPI 写入命令来触发看门狗。SPI 当片选输入 CSN 变为高电平时执行命令。

当从SBC初始化、SBC重启模式，或在某些情况下从SBC停止模式进入时，看门狗定时器始终以长开启窗口启动。长开启窗口（t_{LW} = 200毫秒）允许微控制器运行其初始化序列，然后通过SPI触发看门狗。

看门狗定时器周期可以通过看门狗位字段（WD_TIMER）进行选择，范围为 10 ms 至 1000 ms。此设置对两种看门狗类型均有效。

以下看门狗定时器可供选择：

- WD 设置 1：10 毫秒
- WD 设置 2：20 毫秒
- WD 设置 3：50 毫秒
- WD 设置 4：100 毫秒
- WD 设置 5：200 毫秒
- WD 设置 6：500 毫秒
- WD 设置 7：1000 毫秒

若发生看门狗复位，SBC会根据配置进入重启或故障安全模式，同时SPI位WD_FAIL会被置位。一旦RO再次变为高电平，看门狗立即以长开启窗口启动，SBC自动进入正常模式。

在SBC开发模式下，看门狗处于关闭状态，因此不会因看门狗故障而产生复位和中断。

根据配置的不同，WD_FAIL 将置位，当看门狗触发失败后，如下所示：

- 如果接收到错误的看门狗触发信号（在看门狗关闭窗口内触发，或看门狗计数器到期时无有效触发），那么WD_FAIL位将增加（显示错误看门狗触发的次数）。
- 配置 2：位的最大值为 "01"。
- 配置 1、3 和 4：位的最大值为 "10"。

当出现以下情况时，WD_FAIL 位将自动清零：

- 看门狗触发成功后
- 当看门狗关闭时：在成功禁用看门狗后的SBC停止模式下，在SBC休眠模式下，或在SBC故障安全模式下（因看门狗故障导致进入该模式的情况除外）

15.2.1 超时看门狗

与窗口看门狗相比，超时看门狗是一种更简单且安全性较低的看门狗，因为看门狗触发可以在配置的看门狗定时器周期内的任何时间完成。

正确的看门狗服务会立即启动一个新的看门狗定时器周期。考虑到内部振荡器的容差，这会形成如超时看门狗中所定义的安全触发区域。

如果超时看门狗周期结束，将通过把复位输出RO置低来产生看门狗复位，并且SBC切换到SBC 重启或SBC 故障安全模式。

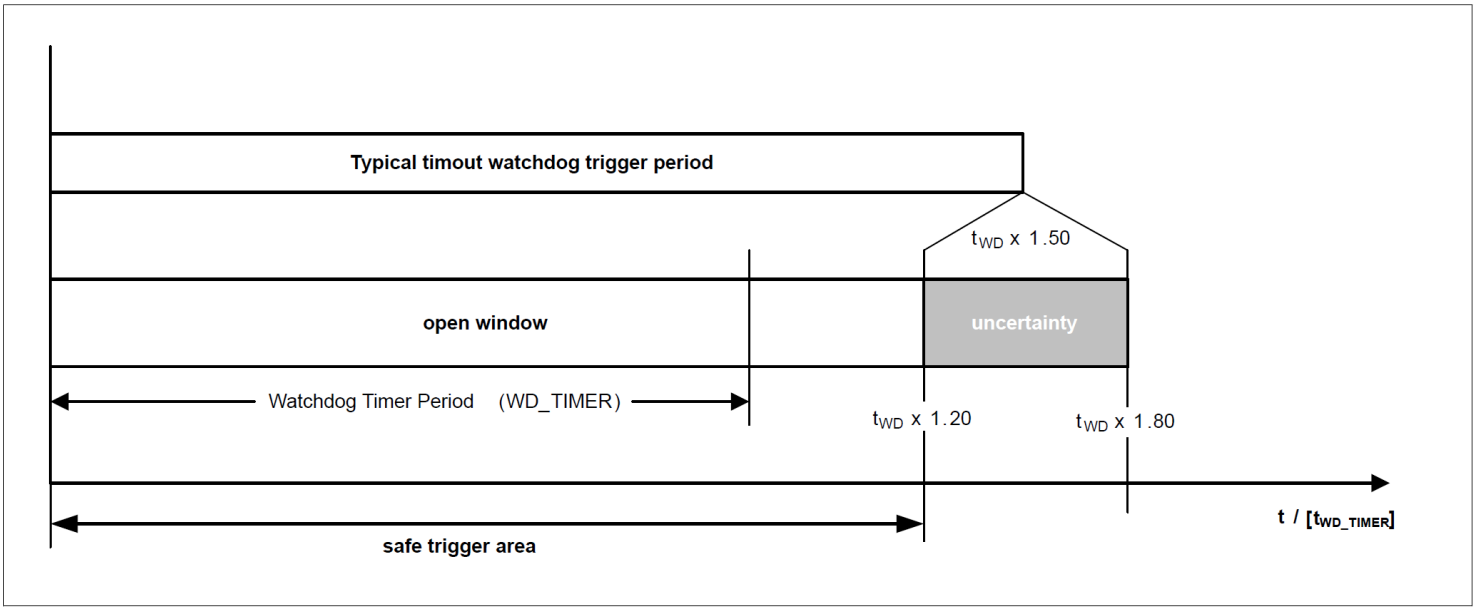


图 53 超时看门狗定义

15.2.2 窗口看门狗

与超时看门狗相比，窗口看门狗的特点是看门狗定时器周期分为关闭窗口和打开窗口。看门狗必须在打开窗口中触发。

正确的看门狗触发会启动窗口看门狗周期，该周期由关闭窗口开始，随后进入打开窗口。

看门狗定时器周期同时也是典型的触发时间，并定义了打开窗口的中间位置。考虑到振荡器的容差，可得出安全触发区域：

$t_{WD} \times 0.72 <$ 安全触发区 $< t_{WD} \times 1.20$。

典型的关闭窗口宽度定义为所选窗口看门狗定时器周期的 60%。考虑到内部振荡器的容差，可得到如图 54 所示的时序。

正确的看门狗服务会立即启动下一个关闭窗口。

如果触发信号处于关闭窗口内，或者看门狗定时器周期结束，那么将通过把复位输出RO置低来产生看门狗复位，并且*SBC*会切换到SBC重启模式或SBC故障安全模式。

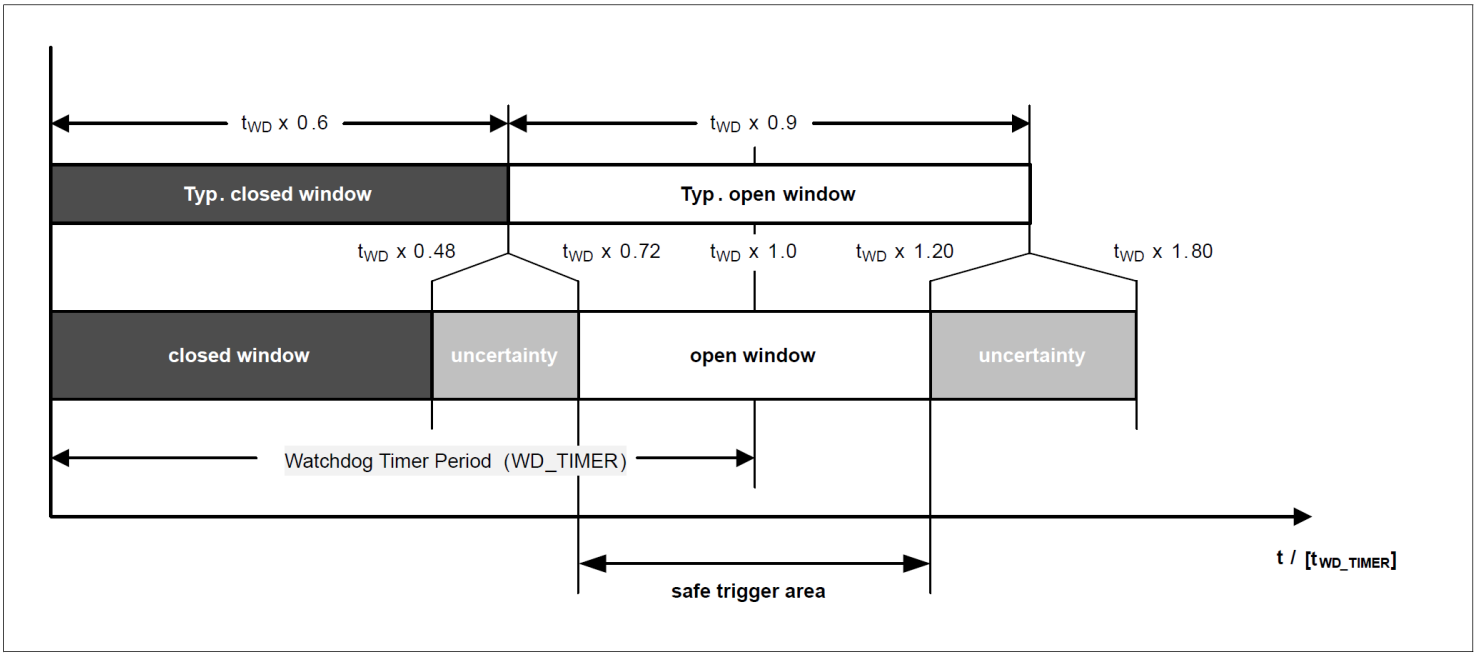


图 54　　窗口看门狗定义

15.2.3 看门狗设置校验

校验位是*SPI* 看门狗和设置看门狗设置指令的一部分。

寄存器WWD_CTRL中8个数据位的总和需为偶校验，计算方式如下。这通过将CHECKSUM位设置为0或1来实现。如果校验和错误，SPI命令将被忽略，即看门狗不会被触发，设置也不会改变，同时SPI_FAIL位会被置位。

校验和的计算考虑了所有 8 位数据。WWD_CTRL 寄存器保留位 3 的写入值（即使在SPI输出中读取为“0”）也会用于校验和计算，也就是说，如果保留位写入的是 1，则校验和计算中也将使用 1。

CHKSUM = 位 15 + 位 14 + 位 13 + 位 12 + 位 11 + 位 10 + 位 9 + 位 8

15.2.4 SBC 停止模式下的看门狗

在*SBC*正常模式下，可以针对SBC停止模式禁用看门狗。出于安全考虑，需要按照图55中所述的特定顺序来禁用看门狗。寄存器WK_CTRL_1和寄存器WD_CTRL中的两个不同*SPI*位（WD_STM_EN_0、WD_STM_EN_1）需要被置位。

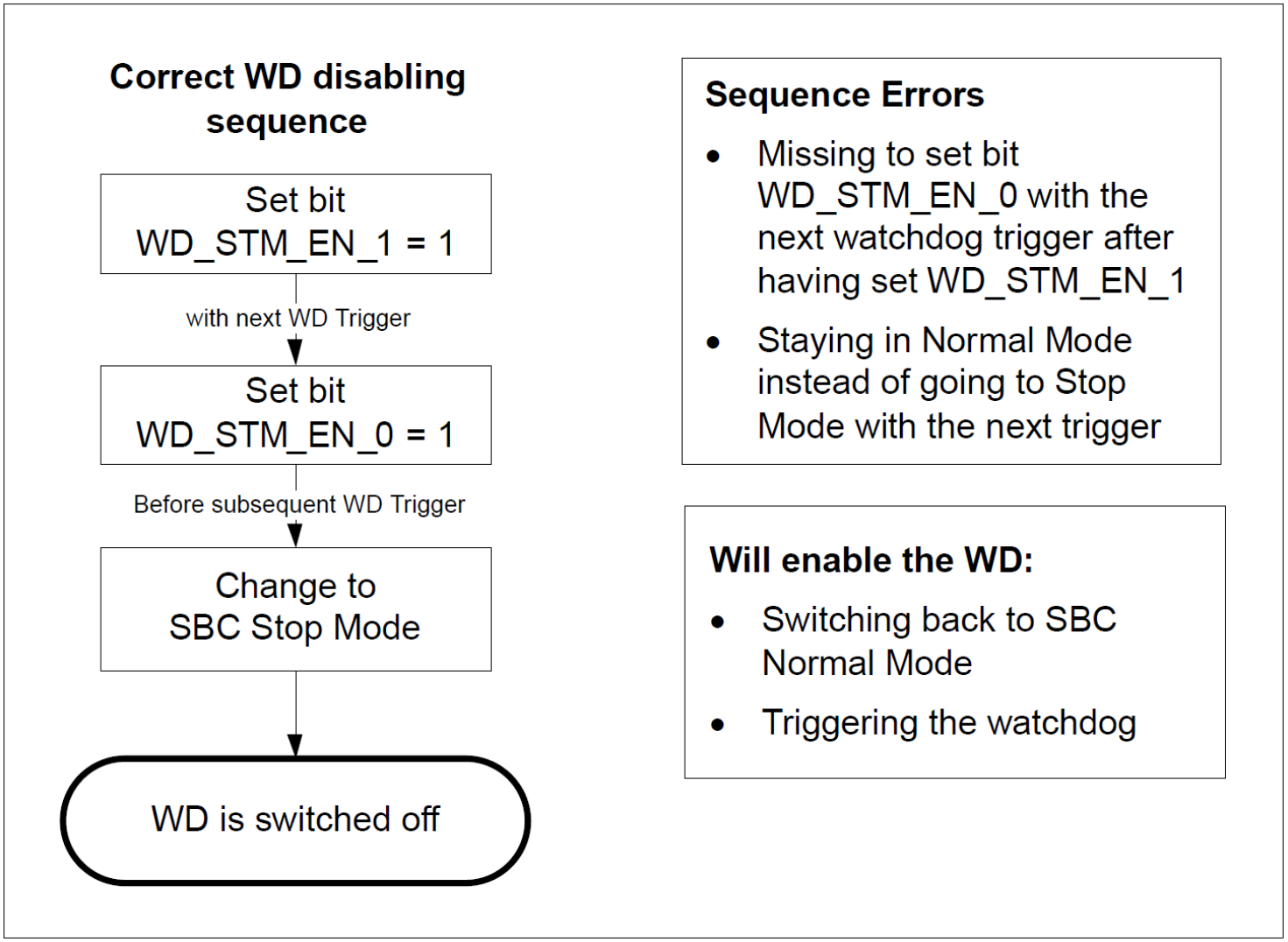


图 55 SBC 停止模式下的看门狗禁用顺序

如果发生序列错误，则位WD_STM_EN_1 将被清除，顺序必须重新开始。

在SBC停止模式下触发看门狗，或通过SPI命令切换回SBC正常模式，均可启用看门狗。在这两种情况下，看门狗将以长开启窗口启动，且WD_STM_EN_1和WD_STM_EN_0位将被清除。长开启窗口结束后，必须按照寄存器WD_CTRL中的配置来喂狗。

注释： *当序列开始时，如果之前的值为1，则位WD_STM_EN_0 会自动清除。*

15.2.5 由于总线唤醒，SBC 停止模式下的看门狗启动

在*SBC*停止模式下可禁用看门狗。此外，还有一项功能，即在SBC停止模式期间，任何总线唤醒（*CAN*或*LIN*）时都会启动看门狗。通过将WD_EN_WK_BUS位设置为1（上电复位（*POR*）后的默认值）来启用此功能。该位只能在SBC正常模式下更改，且需要在开始禁用看门狗序列之前进行编程。

CAN和LINx总线上的唤醒信号会产生中断，LINx的RXD引脚或CAN总线会被拉低。通过这些信号，微控制器得知看门狗已以长开启窗口启动。长开启窗口结束后，必须按照寄存器WD_CTRL中的配置来喂狗。

要再次禁用看门狗，需要将SBC切换到正常模式，然后再次发送该序列。

15.3 VS 上电复位

器件上电时，当VS > VPOR,r，检测到VS上电复位，*SPI*位POR被置位，表明所有SPI寄存器都设置为上电复位（*POR*）默认设置。VCC1开始启动，复位输出将保持低电平，只有在VCC1超过VRT1,r 且经过tRD1时间后才会释放。如果VS < VPOR,f ，将产生设备内部复位，*SBC*关闭，并在VS下次上升沿时以INIT模式重新启动。如图56所示。

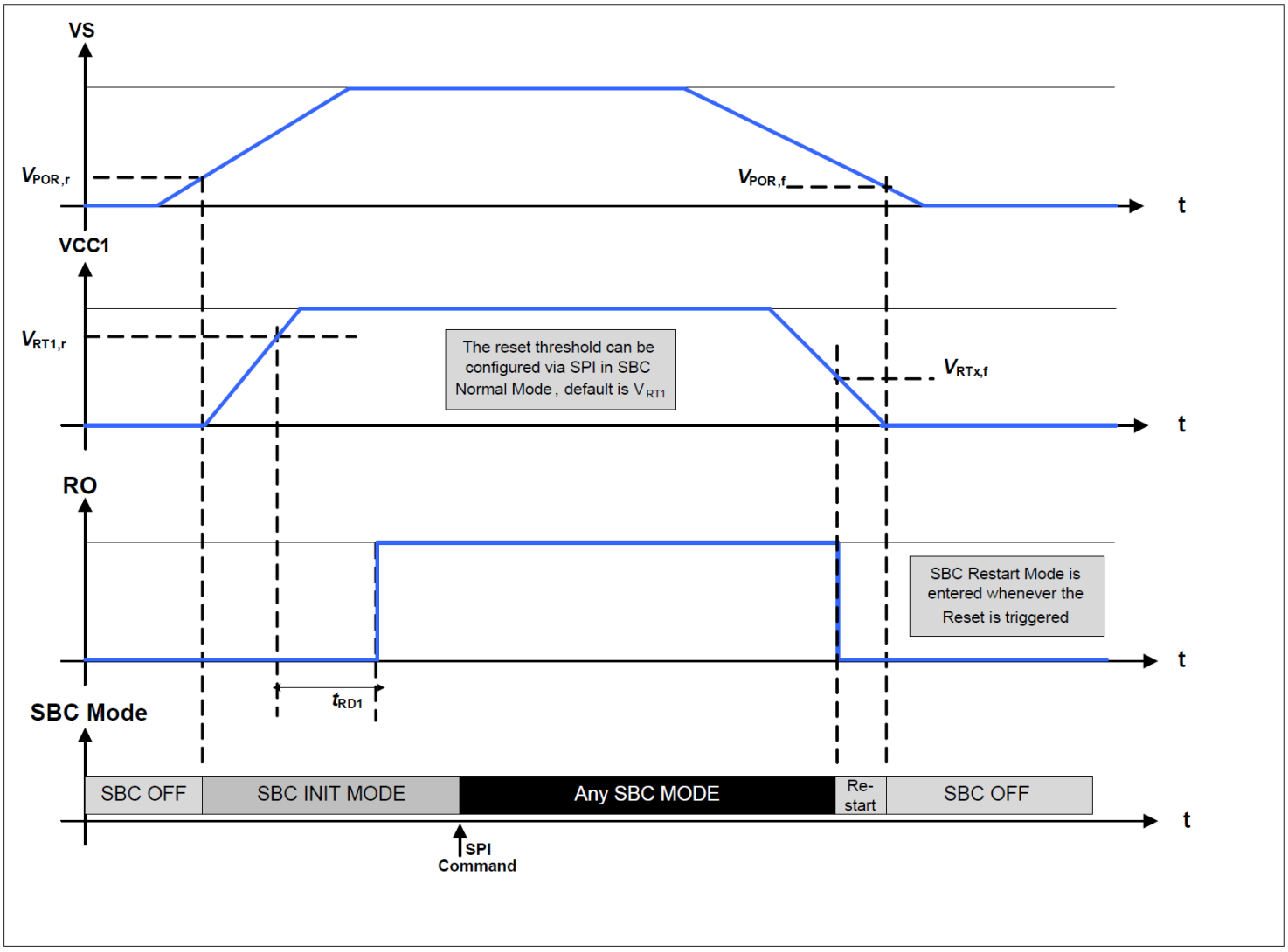


图 56 供电电压上电/下电示例

15.4 VS 和 VSHS欠压

如果供电电压VS达到欠压阈值VS, UV，那么*SBC* 采取以下措施：

- *SPI* 位VS_UV 置位。没有其他错误位被置位。一旦条件不再存在，该位就可以被清除
- VCC3 已禁用（参见功能描述），除非控制位 VCC3_VS_UV_OFF 置位
- VCC1 短路保护变为非激活（请参阅VCC1 短路和 VCC3 诊断）。然而，器件的热保护仍然保持激活状态

如果超过欠压阈值（VS 上升），则功能将再次自动启用。

如果供电电压 VSHS 低于欠压阈值 (VSHS,UVD)，SBC将采取以下措施：

- HS1…4 正在按照SPI 设置运行（见高边开关）
- LINx：发送器和接收器在 VSHS 欠压条件期间被禁用（参见欠压检测）
- SPI位VSHS_UV 置位。没有其他错误位被置位。一旦条件不再存在，位就可以被清除
- VCC1、VCC2、WKx 和*CAN* 不受VSHS欠压影响

15.5 VSHS过压

如果供电电压 VSHS 达到过压阈值 (VSHS, OVD)，*SBC* 触发以下措施：

- HS1…4 正在按照*SPI* 设置运行（见高边开关）
- SPI位VSHS_UV 置位。没有其他错误位被置位。一旦条件不再存在，位就可以被清除
- VCC1、VCC2、VCC3、WKx、*LIN* 和*CAN* 不受VS过压影响

15.6 VCC1 过压/欠压和欠压预警

15.6.1 VCC1 欠压和欠压预警

一级电压检测阈值作为预警信号。预警事件由位VCC1_WARN发出信号。除此之外，不会执行其他操作。

如复位功能及图57所述，当V_{CC1}输出电压降至选定的欠压阈值（V_{RTx}）以下时，将触发复位（RO拉低）。VCC1_UV位被置位，*SBC*将进入SBC重启模式。

注释: *当*V_{CC1} = 0 V 时，VCC1_WARN *或*VCC1_UV位不会置位于休眠模式。

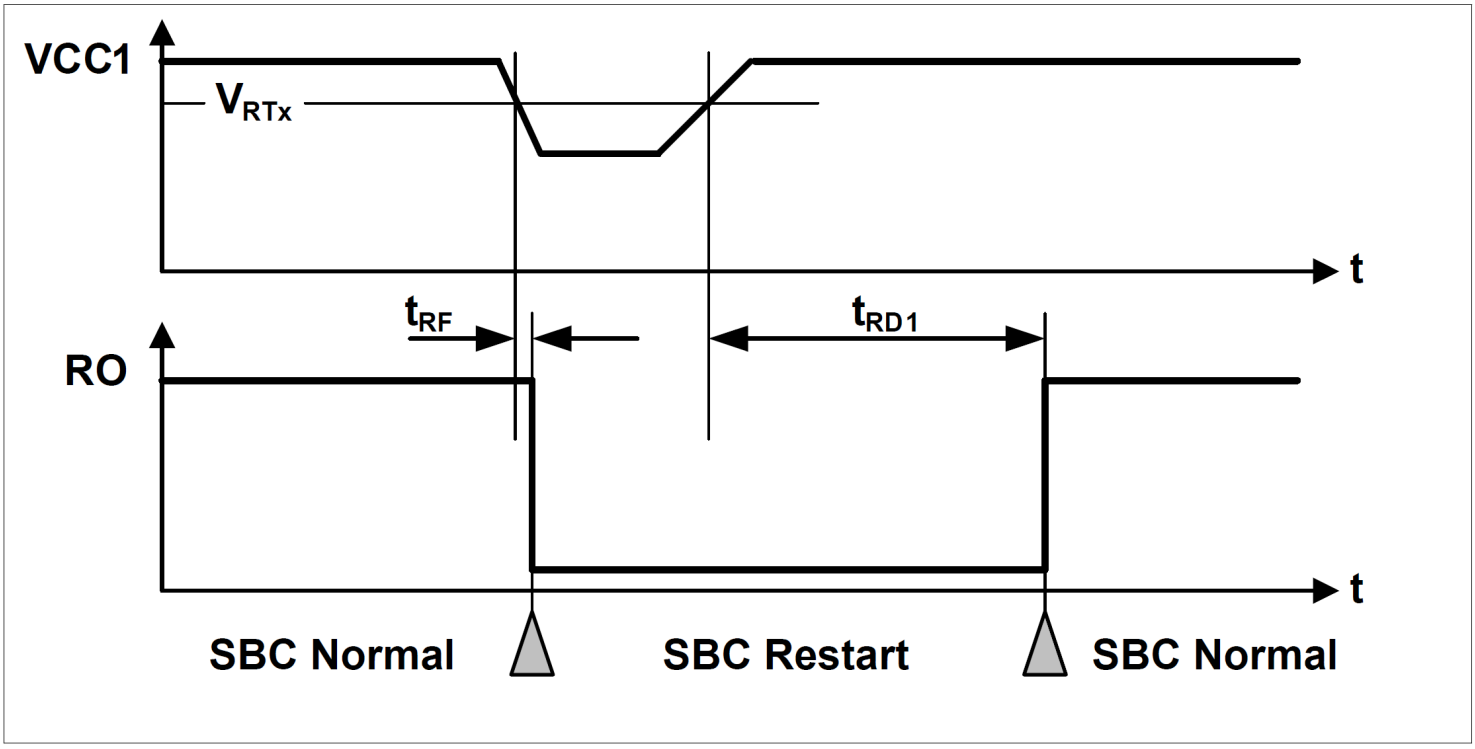


图 57　　VCC1 欠压时序图

实施了额外的安全机制，以避免由于 VCC1 上的高动态负载而导致重复的 VCC1 欠压复位：

- 对于每个连续的 VCC1 欠压事件（无论选定的复位阈值如何），计数器都会增加。
- 计数器在SBC 初始化模式、正常模式和停止模式下激活，
- 当VS < VS,UV 时，在SBC正常模式下计数器将停止（即，在SBC正常模式下，VS *UV* 比较器始终处于启用状态）。
- 连续第四次发生 VCC1 欠压事件将导致SBC进入故障安全模式，并设置位VCC1_UV_ FS
- 计数器在以下情况下被清除：
  - 当SBC 进入故障安全模式时，
  - 当位VCC1_UV 被清除时，
  - 当触发软复位时。

注释： *建议在检测到VCC1_UV 置位后将其清除。*

15.6.2　　VCC1过压

出于故障安全考虑，在*SBC*初始化模式和正常模式下，设置了可配置的VCC1过压检测功能。

如果VCC1,OV,r 阈值被触发，SBC 根据配置触发以下措施：

- 位VCC1_OV 始终置位；
- 如果VCC1_OV_RST位被置位且CFGP = ‘1’，那么SBC将进入重启模式。FOx输出被激活。在复位延迟时间（tRD1）过后，即使VCC1过压情况仍然存在，SBC也会退出重启模式，恢复到正常模式（另见图58）。VCC1_OV_RST位会自动清零。
- 如果位VCC1_OV_RST 置位，并且CFGP = '0'，则SBC 进入故障安全模式，FOx 输出激活。

注释： *进入SBC 停止模式之前，位VCC1_OV_RST 必须设置为“0”，以避免意外的SBC 重启或故障安全模式项。状态位VCC1_OV 可能是无意中置位的。原因是外部噪声可能耦合到VCC1 电源线中。特别是如果SBC 中的VCC1 输出电流STOP 模式低于激活最高阈值 ($I_{VCC1,Ipeak}$)。*

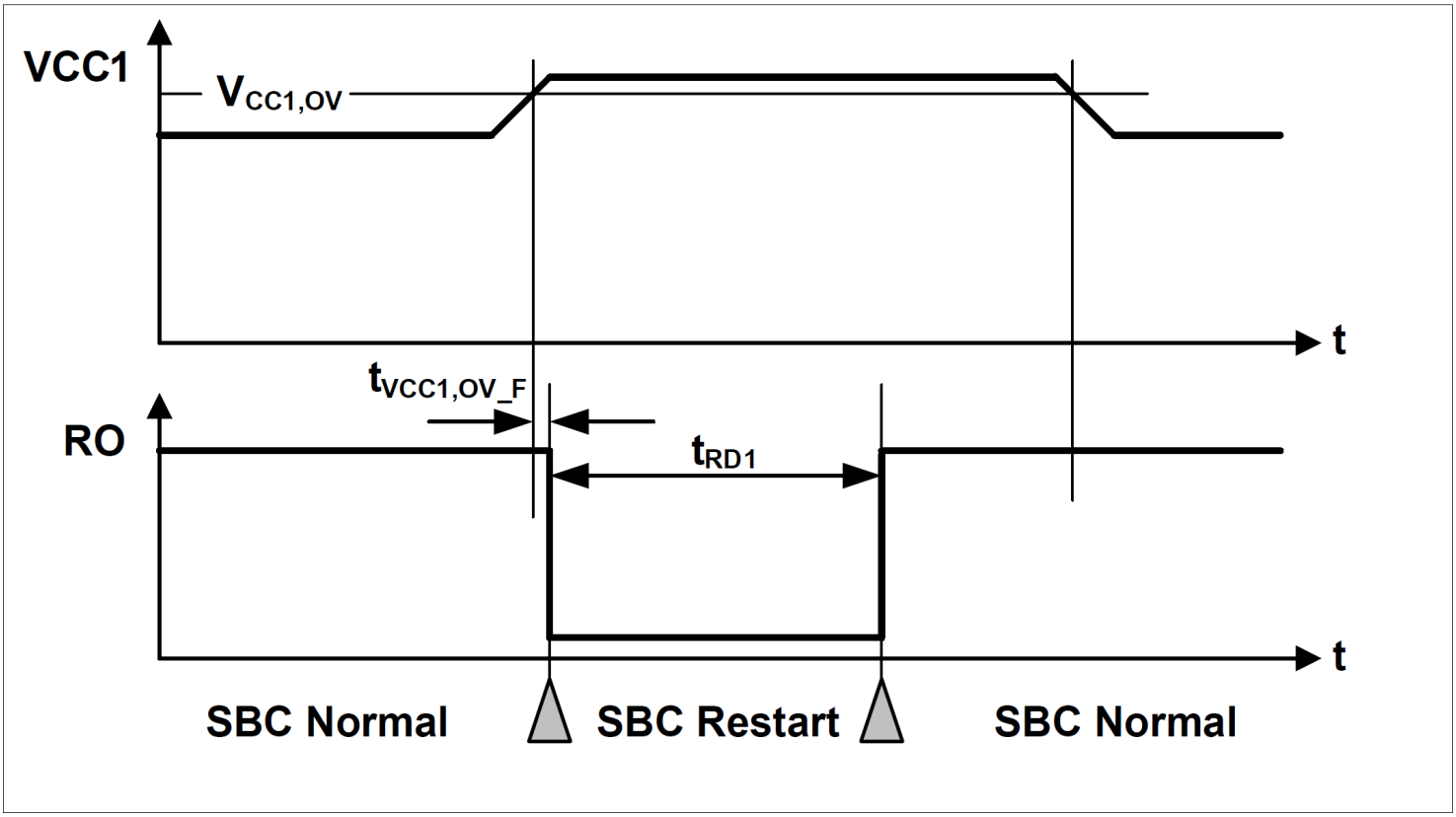


图 58　　VCC1 过压时序图

15.7　　VCC1 短路和 VCC3 诊断

V_{CC1} 的短路保护功能实现如下（VS 需要高于 VS,UV）：

- 如果设备上电后或从SBC休眠模式唤醒后，在tVCC1,SC时间内VCC1未高于V_{RTx}，则*SPI*位VCC1_SC被置位，VCC1关闭，FOx引脚启用，FAILURE被置位，SBC进入故障安全模式。SBC可通过*CAN*、LINx、WKx上的唤醒信号再次激活
- 如果 V_{CC1} 低于 V_{RTx} 的时间超过 tVCC1,SC，则适用相同的行为

VCC3诊断功能实现方式如下：

- 负载共享：当 VS < VS,UV 且 VCC3_VS_UV_OFF = 0 时，或在 SBC 停止模式下且 VCC3_LS_STP_ON = ‘0’ 时，外部 PNP 被禁用。由于相关诊断功能通过 VCC1 提供，因此其余所有诊断功能均被禁用
- 独立配置：当 VS < VS,UV 且 VCC3_VS_UV_OFF = 0 时，外部 PNP 被禁用。过流限制根据所选检流电阻通过 VCC3_OC 位进行指示，VCC3 欠压通过 VCC3_UV 位进行指示；当达到 VS 欠压条件时，稳压器将被禁用

注释： *在V_{CC1}上电或V_{CC3}开启过程中，VCC1_SC 标志和VCC3_UV 标志都不会被置位。*

15.8　　VCC2 欠压和 VCAN 欠压

VCC2 和 VCAN 的欠压警告机制实现如下：

- V_{CC2}欠压检测：如果V_{CC2}低于VCC2,UV,f 阈值，则*SPI* 位VCC2_UV 置位，只能通过SPI清除
- V_{CAN}欠压检测：如果V_{CAN}上的电压低于VCAN_UV 阈值，则SPI位VCAN_UV 置位，只能通过SPI清除

注释： VCC2_UV *标志并非V_{CC2}导通或关断时的置位。*

15.9 热保护

*SBC*中根据系统影响程度，实现了三种相互独立且不同的热保护功能：

- 特定模块的单独热关断
- 主微控制器电源的温度预警 VCC1
- 由于 VCC1 过温导致的SBC热关断

15.9.1 独立热关断

作为一级保护措施，如果VCC2、*CAN*、LINx和HSx这些输出级中任何一个模块的温度达到温度阈值TjTSD1 ，该模块将独立关闭。此时TSD1位被置位。只有当过热情况不再出现时，才能通过*SPI*清除该位。无论*SBC*处于何种模式，热关断保护仅在相应模块开启时才会生效。

各模块的行为如下

- VCC2：切换至OFF，控制位VCC2_ON 已清除。状态位VCC2_OT 置位。一旦过温条件不再存在，则必须通过SPI重新配置 VCC2。
- VCC3 作为独立调节器：切换至 OFF，控制位VCC3_ON 已清除。状态位VCC3_OT 置位。一旦过温条件不再存在，VCC3 必须通过SPI重新配置。建议在再次启用调节器之前清除VCC3_OT。
- 负载共享配置中的 VCC3：如果 VCC3 处温度过高，则该位VCC3_OT 置位且 VCC3 已关闭。一旦过温事件消失，调节器将自动重新开启。此外，在这种情况下，建议清除 VCC3_OT。
- CAN：发射器被禁用，且保持在 CAN 正常模式下，如同仅接收模式一样运行。状态位 CAN_FAIL = ‘01’ 被置位。一旦过热情况不再出现，CAN 发射器会自动开启。
- LINx：发射器被禁用并保持在*LIN* 正常模式类似于LIN仅接收模式。状态位和寄存器 BUS_STAT_2 分别置位为“01”。一旦过温条件不再存在， LIN发射器就会自动打开。
- HSx：若一个或多个HSx开关达到TSD1阈值，所有HSx开关将关闭，且HSx的控制位会被清除（详见寄存器HS_CTRL1及寄存器HS_CTRL2的相关“上下文”）。此时，状态位HSx_OC_OT会置位（参见寄存器HS_OC_OT_STAT）。一旦过温条件不再存在，则必须通过SPI重新配置 HSx。

注释： *诊断位不会自动清除，当过温条件不再存在时，必须通过*SPI *手动清除。*

15.9.2 温度预警

作为下一级热保护措施，如果主电源 VCC1 达到热预警温度阈值TjPW，则会实施温度预警。此时状态位TPW 置位。一旦过温不再存在，此位只能通过*SPI*清除。无论*SBC*处于何种模式，只有在 VCC1 开启时，热预警模式才会激活。

15.9.3 SBC 热关断

作为最高级别的热保护措施，若主电源VCC1达到热关断温度阈值TjTSD2，*SBC*将实施温度关断。一旦检测到TSD2事件，SBC会进入故障安全模式持续tTSD2时长，以使设备冷却。这段时间结束后，SBC将自动经由重启模式切换到正常模式（另见SBC故障安全模式）。

当检测到 TSD2 事件时，则状态位寄存器 THERM_STAT 置位。当过温条件不再存在后，此位只能在SBC 正常模式下通过*SPI* 清除。无论 SBC 处于何种模式，只有在 VCC1 开启时，热关断才会激活。

15.10 电气特性

表 35 电气规格

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
VCC1 Monitoring							
Undervoltage Prewarning Threshold Voltage PW,f	$V_{PW,f}$	4.6	4.7	4.85	V	VCC1 falling, *SPI* bit is set	P_15.10.1
Undervoltage Prewarning Threshold Voltage PW,r	$V_{PW,r}$	4.65	4.80	4.90	V	VCC1 rising	P_15.10.2
Reset Threshold Voltage RT1,f	$V_{RT1,f}$	4.5	4.6	4.75	V	Default setting; VCC1 falling	P_15.10.3
Reset Threshold Voltage RT1,r	$V_{RT1,r}$	4.6	4.7	4.85	V	Default setting; VCC1 rising	P_15.10.4
Reset Threshold Voltage RT2,f	$V_{RT2,f}$	3.75	3.9	4.05	V	VCC1 falling	P_15.10.5
Reset Threshold Voltage RT2,r	$V_{RT2,r}$	3.85	4.0	4.15	V	VCC1 rising	P_15.10.6
Reset Threshold Voltage RT3,f	$V_{RT3,f}$	3.15	3.3	3.45	V	VS ≥ 4 V; VCC1 falling	P_15.10.7
Reset Threshold Voltage RT3,r	$V_{RT3,r}$	3.25	3.4	3.55	V	VS ≥ 4 V; VCC1 rising	P_15.10.8
Reset Threshold Voltage RT4,f	$V_{RT4,f}$	2.4	2.65	2.8	V	VS ≥ 4 V; VCC1 falling	P_15.10.9
Reset Threshold Voltage RT4,r	$V_{RT4,r}$	2.5	2.75	2.9	V	VS ≥ 4 V; VCC1 rising	P_15.10.10
Reset Threshold Hysteresis	$V_{RT,hys}$	50	100	200	mV	–	P_15.10.11
VCC1 Overvoltage Detection Threshold Voltage	$V_{CC1,OV,r}$	5.3	–	5.6	V	1) Rising VCC1	P_15.10.50
VCC1 Overvoltage Detection Threshold Voltage	$V_{CC1,OV,f}$	5.2	–	5.5	V	Falling VCC1	P_15.10.72
VCC1 OV Detection Filter Time	t_{VCC1,OV_F}	5	10	14	µs	3)	P_15.10.51
VCC1 Short to GND Filter Time	$t_{VCC1,SC}$	3.2	4	4.8	ms	3)	P_15.10.12
Reset Generator; Pin RO							
Reset Low Output Voltage	$V_{RO,L}$	–	0.2	0.4	V	I_{RO} = 1 mA for $V_{CC1} \geq 1\ V$ and $V_S \geq$ VPOR,f	P_15.10.14

（表格续下页.....）

表 35　　（续）电气规格

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Reset High Output Voltage	$V_{RO,H}$	0.8 × V_{CC1}	–	V_{CC1} + 0.3 V	V	I_{RO} = -20 µA	P_15.10.15
Reset Pull-up Resistor	R_{RO}	10	20	40	kΩ	V_{RO} = 0 V	P_15.10.16
Reset Filter Time	t_{RF}	4	10	26	µs	3) V_{CC1} < V_{RT1x} to RO = L see also VS Power On Reset	P_15.10.17
Reset Delay Time	t_{RD1}	1.5	2	2.5	ms	2) 3)	P_15.10.18
VCC2 Monitoring							
VCC2 Undervoltage Threshold Voltage (falling)	$V_{CC2,UV,f}$	4.5	–	4.75	V	VCC2 falling	P_15.10.19
VCC2 Undervoltage Threshold Voltage (rising)	$V_{CC2,UV,r}$	4.6	–	4.9	V	VCC2 rising	P_15.10.77
V_{CC2} Undervoltage detection hysteresis	$V_{CC2,UV,hys}$	20	100	250	mV	–	P_15.10.20
VCC3 Monitoring							
V_{CC3} Undervoltage Detection	$V_{CC3,UV}$	4.0	4.25	4.5	V	VCC3_V_CFG=0 hysteresis included	P_15.10.21
V_{CC3} Undervoltage Detection	$V_{CC3,UV}$	2.65	2.85	3.00	V	VCC3_V_CFG=1 hysteresis included	P_15.10.47
V_{CC3} Undervoltage detection hysteresis	$V_{CC3,UV,hys}$	20	100	250	mV	–	P_15.10.22
VCAN Monitoring							
CAN Supply undervoltage detection threshold	V_{CAN_UV}	4.45	–	4.85	V	CAN Normal Mode, hysteresis included	P_15.10.23
Watchdog Generator							
Long Open Window	t_{LW}	160	200	240	ms	3) 4)	P_15.10.24
Internal Oscillator	f_{CLKSBC}	0.8	1.0	1.2	MHz	–	P_15.10.25
Minimum Waiting time during SBC Fail-Safe Mode							
Min. waiting time Fail-Safe	$t_{FS,min}$	80	100	120	ms	3) 5)	P_15.10.75
Power-on Reset, Over-/Undervoltage Protection							
VS Power on reset rising	$V_{POR,r}$	–		4.7	V	VS increasing	P_15.10.26
VS Power on reset falling	$V_{POR,f}$	–		3	V	VS decreasing	P_15.10.27

（表格续下页……）

表 35 （续）电气规格

V_S = 5.5V 至 28V； T_j = -40°C 至 150°C； *SBC* 正常模式；所有电压均相对于地； 定义流入引脚的正向电流；除非另有说明。

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
VS Undervoltage Detection Threshold	$V_{S,UV}$	5.3	–	6.0	V	Supply *UV* threshold forVCC3 and VCC1 SC detection; hysteresis included	P_15.10.13
VSHS Overvoltage Detection Threshold	$V_{SHS,OVD}$	20		22	V	Supply OV supervision for HSx; hysteresis included	P_15.10.28
VSHS Overvoltage Detection hysteresis	$V_{SHS,OVD,hys}$	100	500	–	mV	6)	P_15.10.29
VSHS Undervoltage Detection Threshold	$V_{SHS,UVD}$	4.8		5.5	V	Supply UV supervision for LINx, HSx, and HS of GPIOx; hysteresis included	P_15.10.30
VSHS Undervoltage Detection hysteresis	$V_{SHS,UVD,hys}$	50	200	350	mV	6)	P_15.10.31
Overtemperature Shutdown 6)							
Thermal Prewarning Temperature	T_{jPW}	125	145	165	°C	–	P_15.10.32
Thermal Shutdown TSD1	T_{jTSD1}	165	185	200	°C	–	P_15.10.33
Thermal Shutdown TSD2	T_{jTSD2}	165	185	200	°C	–	P_15.10.34
Thermal Shutdown hysteresis	$T_{jTSD,hys}$	5	15	25	°C	–	P_15.10.68
Deactivation time after thermal shutdown TSD2	t_{TSD2}	0.8	1	1.2	s	3)	P_15.10.35

1) 确保阈值$V_{CC1,OV,r}$始终高于最高稳压V_{CC1}输出电压VCC1,out42。
2) 当 VCC1 超过选定的V_{rtx}阈值时，复位延迟时间将开始。
3) 未经生产测试，公差由内部振荡器公差决定。
4) 如同超时看门狗中所示，需要应用1.5的额外安全系数。
5) 该时间适用于除器件热关断（TSD2 的等待时间 tTSD2 约1 秒）之外的所有故障条目。
6) 未经过生产测试，由设计指定。

16 串行外设接口

16.1 SPI功能块描述

16 位宽的控制输入字通过数据输入 SDI 读取，该 SDI 与微控制器提供的时钟输入 CLK 同步。输出字同步出现在数据输出 SDO 上（见图 59）。当芯片被输入 CSN、低激活选择时，循环开始。 CSN输入从低电平返回到高电平后，根据内容解释已读取的字。此时SDO输出切换到三态（高阻态），从而释放SDO链路以供其他用途。随着 CLK 上的每次下降，SDI 的状态都会转移到输入寄存器中。在 CLK 上每次上升后，SDO 的状态就会移出输出寄存器。SBC 的*SPI* 没有菊花链能力。

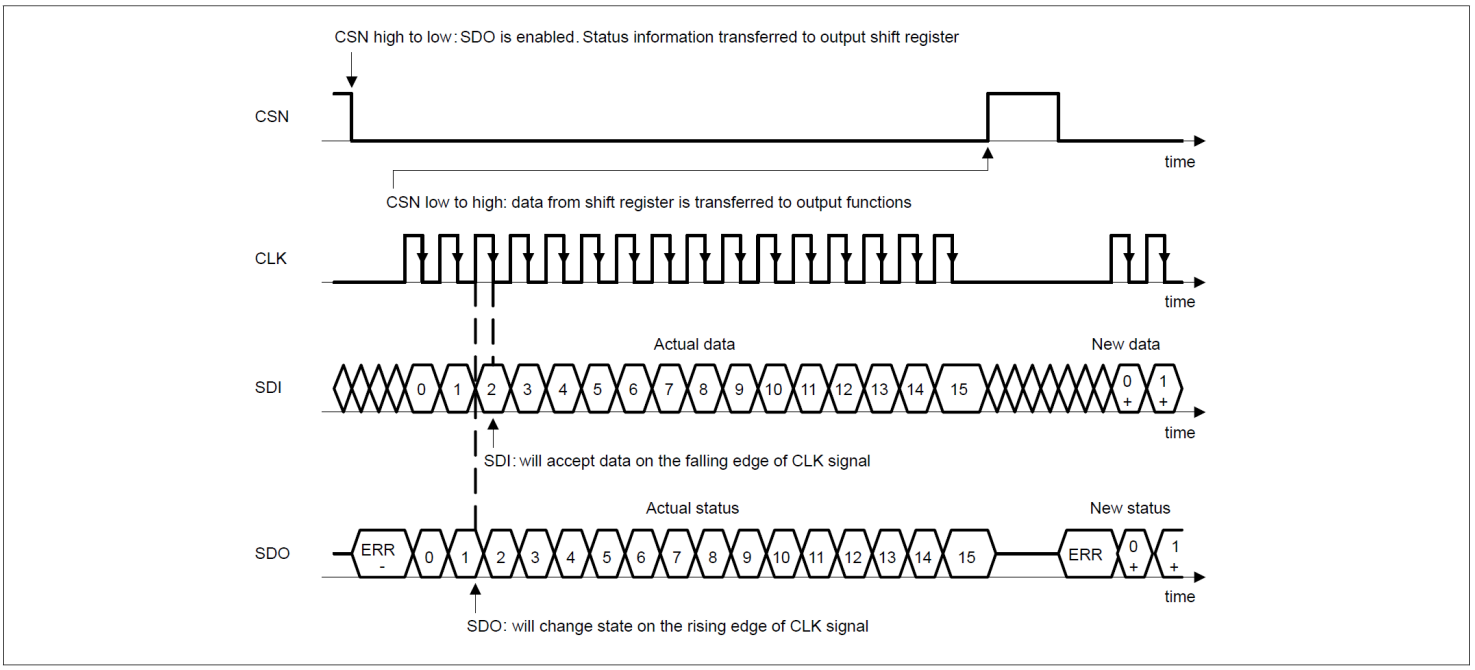


图 59 SPI数据传输时序（注意：与寄存器描述相比，本图中所示的LSB和MSB的顺序相反）

16.2 SPI 数据输出中的故障信号

当微控制器向SBC发送错误的*SPI*命令时，*SBC*会忽略该信息。错误的SPI命令包括无效的SBC模式命令，或状态机禁止的命令，以避免设备或系统进入不良状态（见下文）。在这种情况下，诊断位“SPI_FAIL”被置位，SPI写命令被忽略（通常不会部分解读）。该位只能通过SPI命令主动清除来复位。

无效的SPI命令导致SPI_FAIL 如下：

- 非法状态转换：从SBC停止模式转换到SBC休眠模式。在这种情况下，SBC还会进入SBC重启模式。试图从SBC初始化模式转换到SBC停止模式或SBC休眠模式。在这种情况下，SBC将进入正常模式
- 数据位奇偶校验不一致发生在寄存器WD_CTRL数据中。在这种情况下，看门狗触发信号或新的看门狗设置将被忽略
- 在SBC 停止模式：尝试更改任何SPI 配置，例如，更改看门狗配置、*PWM*设置和 HS 配置等）时，SPI命令将被忽略。在SBC停止模式中，

  只有 *WD* 触发、返回正常模式、触发SBC 软复位、读取和清除状态寄存器命令SPI 在SBC 停止模式下是有效的命令；
- 当进入SBC停止模式时，如果寄存器WK_STAT_1和寄存器WK_STAT_2未清零，不会设置SPI_FAIL，但会触发INT引脚
- 从SBC停止模式转换到正常模式时，若对寄存器M_S_CTRL的其他位进行更改，这些更改将被忽略
- SBC休眠模式：当寄存器BUS_CTRL_1、寄存器BUS_CTRL_2和寄存器WK_CTRL_2中的所有位都被清零时，试图进入休眠模式。在这种情况下，SPI_FAIL位被置位，SBC进入重启模式

  即便在这种情况下未成功进入休眠模式命令，但命令的其余部分（例如修改VCC2或VCC3）仍会执行，且在SBC重启模式期间这些值保持不变

  注释：至少需要激活一个唤醒源，以避免SBC休眠模式下出现死锁，即SBC将无法再被唤醒

  如果唯一的唤醒源是定时器并且定时器关闭，则SBC将立即从休眠模式唤醒并进入重启模式

  当寄存器BUS_CTRL_1、寄存器BUS_CTRL_2和寄存器WK_CTRL_2中的所有位都被清零时，若试图进入SBC停止模式，不会进行故障处理。因为微控制器可以通过SPI离开该模式
- 如果VCC3负载共享VCC3_LS 是启用的，微控制器尝试清除位，然后执行命令的其余部分，但 VCC3_LS 仍将保留置位
- 如果WK_MEAS设置为“1”，且仅将WK1_EN或WK2_EN设置为唤醒源时，试图进入SBC休眠模式，这种情况下，SPI_FAIL位会被置位，SBC将进入重启模式
- 设置比相应定时器的定时器周期更长或相等的导通时间
- SDI滞留于高电平或低电平，例如，SDI接收到全部“0”或全部“1”

注释： *没有SPI 对无效地址的故障信息。*

SPI数据输出中 ERR 标志（高激活）的信号（见图 59）：

ERR 标志为SPI提供了一种额外的诊断可能性。ERR 标志在以下情况下被置位：

- 如果接收到的 SPI 时钟不是 0 或 16
- 如果 RO 为低电平且SPI 帧同时发送

注释： *为了正确读取SPI ERR 标志时，当 CSN 触发时，CLK 必须为低电平，即如果 CSN 下降沿时 CLK 为高电平，则 ERR 位无效。*

接收到的SPI时钟数不是0或16：

接收到的输入时钟数量被监控为 0 或 16 个时钟周期，如果出现失配（0 个时钟周期，发出 ERR 信号），则丢弃该输入字。错误逻辑还会检测 CSN 边沿期间 CLK 是否为高电平。0 位和 16 位 CLK 失配，或者 CSN 边沿期间 CLK 为高电平，这两种错误都会在随后的SPI输出中，通过在接收到第一个时钟上升沿之前将数据输出（SDO，位 ERR）置为“HIGH”来进行标记。在这种情况下，整个SPI命令将被忽略。

RO 为低电平，同时正在发送 SPI 帧：

当RO引脚被触发（在SBC重启期间）且同时有SPI帧发送到SBC时，ERR标志将被置位。在以下情况下，ERR 标志的状态将在下一个SPI 命令时显示出来：

- 如果命令在 RO 为高电平时开始，在 RO 为低电平时结束
- 如果SPI 当 RO 为低电平时将发送命令
- 如果SPI 命令开始时 RO 为低电平，结束时 RO 为高电平

且SDO 输出将按如下方式运行：

- 当 RO 始终为低电平时，SDO 将为高电平
- 当SPI命令开始时RO为低电平，结束时RO为高电平，应忽略SDO，因为会发送错误数据

注释：

1. *无需发送任何数据位即可快速检查 ERR 标志，即仅将 CSN 拉低并观察 SDO，在此情况下无需发送任何 SPI 时钟。*
2. *ERR 标志本可以在*SBC *已进入*SBC *故障安全模式下发送，因为*SPI *通信停止。*

16.3 SPI编程

对于 CLE9263-3BQX，使用 7 位进行地址选择（BIT6...0）。位 7 用于决定状态位是只读还是读写，以及配置位是写还是只读。实际配置和状态信息使用 8 个数据位（BIT15...8）。

读写和清零操作按字节进行。*SPI*状态位不会自动清零，必须由微控制器清除，例如，若因过热导致TSD2被置位的情况。配置位会由*SBC*部分自动清零 - 详细信息请参考各个寄存器的描述。在SBC重启模式期间，SBC会忽略SPI通信，即不会对其进行解读。

有两种SPI 寄存器类型：

- 控制寄存器：这些寄存器用于配置SBC，例如SBC模式、看门狗触发等
- 状态寄存器：这些寄存器用于发出SBC的状态信号，例如唤醒事件、警告、故障等

对于状态寄存器，所请求的信息会在同一SPI命令的DO（数据输出）中给出。

对于控制寄存器，相应字节的状态也显示在同一个SPI命令中。但是，如果设置发生更改，则仅在下一个SPI中显示。同一寄存器的命令（仅在 CSN 高电平后有效）。

来自SPI状态寄存器的SBC状态信息，以压缩方式在每次SPI响应时通过SDO（串行数据输出）传输到所谓的状态信息字段寄存器中（另见图60）。该寄存器的作用是，若SPI状态寄存器中的任何一个发生变化，能迅速将信息告知微控制器。这样一来，微控制器无需持续读取所有SPI状态寄存器，只需读取那些发生变化的寄存器即可。

状态信息字段中的每一位都代表一个SPI状态寄存器（见表36）。一旦某个状态寄存器中的某一位被置位，状态信息字段寄存器中的相应位也会被置位。寄存器WK_LVL_STAT不包含在状态信息字段中，这一点列于表36中。

例如，如果状态信息字段中的第0位被设置为1，那么寄存器100 0001（寄存器SUP_STAT_1）中的一位或多位被设置为1。此时，需要通过第二条SPI命令读取该寄存器。当寄存器100 0001中的所有位都被重置为0时，状态信息字段中的相应位将被设置为0。

表 36 状态信息字段

Bit in Status Information Field	Corresponding Address Bit	Status Register Description
0	100 0001	SUP_STAT_1: Supply Status -VSHS fail, VCCx fail, *POR*
1	100 0010	THERM_STAT: Thermal Protection Status
2	100 0011	DEV_STAT: Device Status - Mode before Wake, *WD* Fail, SPI Fail, Failure
3	100 0100	BUS_STAT: Bus Failure Status: *CAN*, LINx; BUS_STAT_1 and BUS_STAT_2 are a combinational OR
4	100 0110	WK_STAT_1, WK_STAT_2: Wake Source Status; Status bit is set as combinational OR of both registers
5	100 0000	SUP_STAT_2: VCC1_WARN/OV, VCC3 Status
6	101 0100	HS_OC_OT_STAT: High-Side Over Load Status
7	101 0101	HS_OL_STAT: High-Side Open Load Status

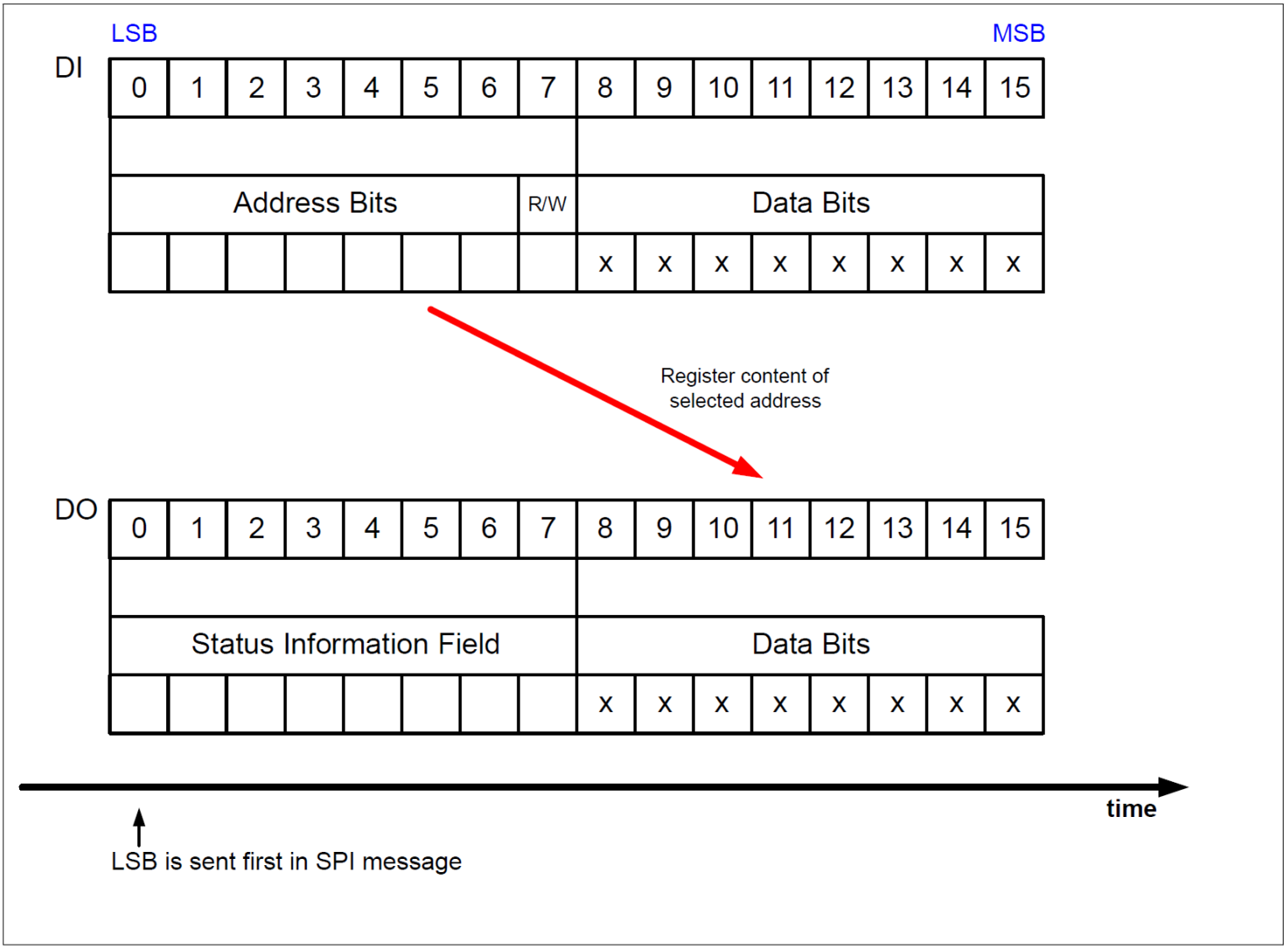

LSB
MSB
DI
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Address Bits
R/W
Data Bits
x x x x x x x x
Register content of selected address
DO
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Status Information Field
Data Bits
x x x x x x x x
time
LSB is sent first in SPI message

图 60　　SPI运行模式

16.4 SPI位映射

下图展示了寄存器和*SPI* 各个位的映射关系。

控制寄存器“000 0000”至“001 1110”为读/写寄存器。根据第 7 位的值，这些位只能读取（将第 7 位设置为“0”）或也可以写入（将第 7 位设置为“1”）。写入后的位的新设置可以通过新的读/写命令看到。

寄存器“100 0000”至“111 1110”是状态寄存器，可以根据位 7 来读取或通过清除位（如果可能）来读取。要清除状态寄存器位 7 之一的数据字节，必须将寄存器位设置为 1。寄存器WK_LVL_STAT和寄存器FAM_PROD_STAT、寄存器 SWK_OSC_CAL_H_STAT、寄存器 SWK_OSC_CAL_L_STAT 、寄存器 SWK_STAT、寄存器 SWK_ECNT_STAT、寄存器 SWK_CDR_STAT1 、寄存器 SWK_CDR_STAT2为例外情况，因为它们分别显示相应 WK 引脚（低/高）或固定系列/产品 ID 处的实际电压差异，因此无法清除。建议清除相应唤醒事件或故障的状态位，以便进行正确的诊断。但是，通常可以在不清除相应故障标志的情况下启用驱动器。

当更换为不同的*SBC* 模式，特定位将被自动清除或修改：

- SBC 模式位会更新为实际状态，例如，当返回正常模式时
- 切换到低功耗模式（停止/休眠）时，开关和收发器的诊断位不会被清除。如果 FOx 在以下情况下被触发，它将保持激活状态
- 切换为SBC 停止模式时， *CAN* 和*LIN* 控制位不会被修改
- 切换到SBC休眠模式时，如果CAN和LIN控制位之前未处于关闭状态或未启用唤醒功能，则这些控制位将被修改
- 进入休眠/停止模式时，HSx、VCC2 和 VCC3 将保持开通（只能在正常模式下进行配置）。诊断为激活（OC、OL、OT）。如果发生故障，开关将被关闭，并且不会发出唤醒信号。
- 在独立配置中，HSx和VCC2的配置位在SBC重启模式下会被清除。如果FOx之前被触发，它将保持激活状态。根据各自的配置，CAN/LIN收发器要么关闭、被唤醒，要么仍具备唤醒能力

注释： *各个*SPI *位和控制功能的详细行为在*SPI控制寄存器、SPI状态信息寄存器 *以及相应模块章节中有描述。若*SBC *将修改相应控制位，该位类型会标记为“rwh”。*

	MSB 15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LSB 0		
	8 Data Bits [bits 8...15] for Configuration & Status Information								Reg. Type	7 Address Bits [bits 0...6] for Register Selection								
Control Registers	M_S_CTRL								rw	0 0 0 0 0 0 1								
	HW_CTRL								rw	0 0 0 0 0 1 0								
	WD_CTRL								rw	0 0 0 0 0 1 1								
	BUS_CTRL_1								rw	0 0 0 0 1 0 0								
	BUS_CTRL_2								rw	0 0 0 0 1 0 1								
	WK_CTRL_1								rw	0 0 0 0 1 1 0								
	WK_CTRL_2								rw	0 0 0 0 1 1 1								
	WK_PUPD_CTRL								rw	0 0 0 1 0 0 0								
	WK_FLT_CTRL								rw	0 0 0 1 0 0 1								
	TIMER1_CTRL								rw	0 0 0 1 1 0 0								
	TIMER2_CTRL								rw	0 0 0 1 1 0 1								
	SW_SD_CTRL								rw	0 0 1 0 0 0 0								
	HS_CTRL_1								rw	0 0 1 0 1 0 0								
	HS_CTRL_2								rw	0 0 1 0 1 0 1								
	GPIO_CTRL								rw	0 0 1 0 1 1 1								
	PWM1_CTRL								rw	0 0 1 1 0 0 0								
	PWM2_CTRL								rw	0 0 1 1 0 0 1								
	PWM_FREQ_CTRL								rw	0 0 1 1 1 0 0								
	SYS_STAT_CTRL								rw	0 0 1 1 1 1 0								
Selective Wake Control Registers	SWK_CTRL								rw	0 1 0 0 0 0 0								
	SWK_BTL1_CTRL								rw	0 1 0 0 0 0 1								
	SWK_BTL2_CTRL								rw	0 1 0 0 0 1 0								
	SWK_ID3_CTRL								rw	0 1 0 0 0 1 1								
	SWK_ID2_CTRL								rw	0 1 0 0 1 0 0								
	SWK_ID1_CTRL								rw	0 1 0 0 1 0 1								
	SWK_ID0_CTRL								rw	0 1 0 0 1 1 0								
	SWK_MASK_ID3_CTRL								rw	0 1 0 0 1 1 1								
	SWK_MASK_ID2_CTRL								rw	0 1 0 1 0 0 0								
	SWK_MASK_ID1_CTRL								rw	0 1 0 1 0 0 1								
	SWK_MASK_ID0_CTRL								rw	0 1 0 1 0 1 0								
	SWK_DLC_CTRL								rw	0 1 0 1 0 1 1								
	SWK_DATA 7_CTRL								rw	0 1 0 1 1 0 0								
	SWK_DATA 6_CTRL								rw	0 1 0 1 1 0 1								
	SWK_DATA 5_CTRL								rw	0 1 0 1 1 1 0								
	SWK_DATA 4_CTRL								rw	0 1 0 1 1 1 1								
	SWK_DATA 3_CTRL								rw	0 1 1 0 0 0 0								
	SWK_DATA 2_CTRL								rw	0 1 1 0 0 0 1								
	SWK_DATA 1_CTRL								rw	0 1 1 0 0 1 0								
	SWK_DATA 0_CTRL								rw	0 1 1 0 0 1 1								
	SWK_CAN_FD_CTRL								rw	0 1 1 0 1 0 0								
	SWK_OSC_TRIM_CTRL								rw	0 1 1 1 0 0 0								
	SWK_OPT_CTRL								rw	0 1 1 1 0 0 1								
	SWK_OSC_CAL_H_STAT								r	0 1 1 1 0 1 0								
	SWK_OSC_CAL_L_STAT								r	0 1 1 1 0 1 1								
	SWK_CDR_CTRL1								rw	0 1 1 1 1 0 0								
	SWK_CDR_CTRL2								rw	0 1 1 1 1 0 1								
	SWK_CDR_LIMIT_H_CTRL								rw	0 1 1 1 1 1 0								
	SWK_CDR_LIMIT_L_CTRL								rw	0 1 1 1 1 1 1								
Status Registers	SUP_STAT_2								rc	1 0 0 0 0 0 0							5	Status Information Field Bit
	SUP_STAT_1								rc	1 0 0 0 0 0 1							0	
	THERM_STAT								rc	1 0 0 0 0 1 0							1	
	DEV_STAT								rc	1 0 0 0 0 1 1							2	
	BUS_STAT_1								rc	1 0 0 0 1 0 0							3	
	BUS_STAT_2								rc	1 0 0 0 1 0 1							3	
	WK_STAT_1								rc	1 0 0 0 1 1 0							4	
	WK_STAT_2								rc	1 0 0 0 1 1 1							4	
	WK_LVL_STAT								r	1 0 0 1 0 0 0							-	
	HS_OC_OT_STAT								rc	1 0 1 0 1 0 0							6	
	HS_OL_STAT								rc	1 0 1 0 1 0 1							7	
	SWK_STAT								r	1 1 1 0 0 0 0								
	SWK_ECNT_STAT								r	1 1 1 0 0 0 1								
	SWK_CDR_STAT1								r	1 1 1 0 0 1 0								
	SWK_CDR_STAT2								r	1 1 1 0 0 1 1								
	FAM_PROD_STAT								r	1 1 1 1 1 1 0								

图 61 SPI 寄存器映射（包括选择性唤醒）

Register Short Name	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6...0
	Data Bit 15...8								Access Mode	Address A6...A0
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
CONTROLREGISTERS										
M_S_CTRL	MODE_1	MODE_0	VCC3_ON	VCC2_ON_1	VCC2_ON_0	VCC1_OV_RST	VCC1_RT_1	VCC1_RT_0	read/write	0000001
HW_CTRL	VCC3_V_CFG	SOFT_RESET_RO	FO_ON	VCC3_VS_UV_OFF	VCC3_LS	reserved	VCC3_LS_STP_ON	CFG	read/write	0000010
WD_CTRL	CHECKSUM	WD_STM_EN_0	WD_WIN	WD_EN_WK_BUS	reserved	WD_TIMER_2	WD_TIMER_1	WD_TIMER_0	read/write	0000011
BUS_CTRL_1	LIN_FLASH	LIN_LSM	LIN_TXD_TO	LIN1_1	LIN1_0	CAN_2	CAN_1	CAN_0	read/write	0000100
BUS_CTRL_2	reserved	reserved	I_PEAK_TH	reserved	reserved	reserved	LIN2_1	LIN2_0	read/write	0000101
WK_CTRL_1	TIMER2_WK_EN	TIMER1_WK_EN	reserved	reserved	reserved	WD_STM_EN_1	reserved	reserved	read/write	0000110
WK_CTRL_2	INT_GLOBAL	reserved	WK_MEAS	reserved	reserved	WK3_EN	WK2_EN	WK1_EN	read/write	0000111
WK_PUPD_CTRL	reserved	reserved	WK3_PUPD_1	WK3_PUPD_0	WK2_PUPD_1	WK2_PUPD_0	WK1_PUPD_1	WK1_PUPD_0	read/write	0001000
WK_FLT_CTRL	reserved	reserved	WK3_FLT_1	WK3_FLT_0	WK2_FLT_1	WK2_FLT_0	WK1_FLT_1	WK1_FLT_0	read/write	0001001
TIMER1_CTRL	reserved	TIMER1_ON_2	TIMER1_ON_1	TIMER1_ON_0	reserved	TIMER1_PER_2	TIMER1_PER_1	TIMER1_PER_0	read/write	0001100
TIMER2_CTRL	reserved	TIMER2_ON_2	TIMER2_ON_1	TIMER2_ON_0	reserved	TIMER2_PER_2	TIMER2_PER_1	TIMER2_PER_0	read/write	0001101
SW_SD_CTRL	reserved	HS_OV_SD_EN	HS_UV_SD_EN	HS_OV_UV_REC	reserved	reserved	reserved	reserved	read/write	0010000
HS_CTRL_1	reserved	HS2_2	HS2_1	HS2_0	reserved	HS1_2	HS1_1	HS1_0	read/write	0010100
HS_CTRL_2	reserved	HS4_2	HS4_1	HS4_0	reserved	HS3_2	HS3_1	HS3_0	read/write	0010101
GPIO_CTRL	FO_DC_1	FO_DC_0	GPIO2_2	GPIO2_1	GPIO2_0	GPIO1_2	GPIO1_1	GPIO1_0	read/write	0010111
PWM1_CTRL	PWM1_DC_7	PWM1_DC_6	PWM1_DC_5	PWM1_DC_4	PWM1_DC_3	PWM1_DC_2	PWM1_DC_1	PWM1_DC_0	read/write	0011000
PWM2_CTRL	PWM2_DC_7	PWM2_DC_6	PWM2_DC_5	PWM2_DC_4	PWM2_DC_3	PWM2_DC_2	PWM2_DC_1	PWM2_DC_0	read/write	0011001
PWM_FREQ_CTRL	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	PWM2_FREQ_0	reserved	PWM1_FREQ_0	read/write	0011100
SYS_STAT_CTRL	SYS_STAT_7	SYS_STAT_6	SYS_STAT_5	SYS_STAT_4	SYS_STAT_3	SYS_STAT_2	SYS_STAT_1	SYS_STAT_0	read/write	0011110
SELECTIVEWAKEREGISTERS										
SWK_CTRL	OSC_CAL	TRIM_EN_1	TRIM_EN_0	CANTO_MASK	reserved	reserved	reserved	CFG_VAL	read/write	0100000
SWK_BTL1_CTRL	TBIT_7	TBIT_6	TBIT_5	TBIT_4	TBIT_3	TBIT_2	TBIT_1	TBIT_0	read/write	0100001
SWK_BTL2_CTRL	reserved	reserved	SP_5	SP_4	SP_3	SP_2	SP_1	SP_0	read/write	0100010
SWK_ID3_CTRL	ID28	ID27	ID26	ID25	ID24	ID23	ID22	ID21	read/write	0100011
SWK_ID2_CTRL	ID20	ID19	ID18	ID17	ID16	ID15	ID14	ID13	read/write	0100100
SWK_ID1_CTRL	ID12	ID11	ID10	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5	read/write	0100101
SWK_ID0_CTRL	reserved	ID4	ID3	ID2	ID1	ID0	RTR	IDE	read/write	0100110
SWK_MASK_ID3_CTRL	MASK_ID28	MASK_ID27	MASK_ID26	MASK_ID25	MASK_ID24	MASK_ID23	MASK_ID22	MASK_ID21	read/write	0100111
SWK_MASK_ID2_CTRL	MASK_ID20	MASK_ID19	MASK_ID18	MASK_ID17	MASK_ID16	MASK_ID15	MASK_ID14	MASK_ID13	read/write	0101000
SWK_MASK_ID1_CTRL	MASK_ID12	MASK_ID11	MASK_ID10	MASK_ID9	MASK_ID8	MASK_ID7	MASK_ID6	MASK_ID5	read/write	0101001
SWK_MASK_ID0_CTRL	reserved	MASK_ID4	MASK_ID3	MASK_ID2	MASK_ID1	MASK_ID0	reserved	reserved	read/write	0101010
SWK_DLC_CTRL	reserved	reserved	reserved	reserved	DLC_3	DLC_2	DLC_1	DLC_0	read/write	0101011
SWK_DATA7_CTRL	DATA7_7	DATA7_6	DATA7_5	DATA7_4	DATA7_3	DATA7_2	DATA7_1	DATA7_0	read/write	0101100
SWK_DATA6_CTRL	DATA6_7	DATA6_6	DATA6_5	DATA6_4	DATA6_3	DATA6_2	DATA6_1	DATA6_0	read/write	0101101
SWK_DATA5_CTRL	DATA5_7	DATA5_6	DATA5_5	DATA5_4	DATA5_3	DATA5_2	DATA5_1	DATA5_0	read/write	0101110
SWK_DATA4_CTRL	DATA4_7	DATA4_6	DATA4_5	DATA4_4	DATA4_3	DATA4_2	DATA4_1	DATA4_0	read/write	0101111
SWK_DATA3_CTRL	DATA3_7	DATA3_6	DATA3_5	DATA3_4	DATA3_3	DATA3_2	DATA3_1	DATA3_0	read/write	0110000
SWK_DATA2_CTRL	DATA2_7	DATA2_6	DATA2_5	DATA2_4	DATA2_3	DATA2_2	DATA2_1	DATA2_0	read/write	0110001
SWK_DATA1_CTRL	DATA1_7	DATA1_6	DATA1_5	DATA1_4	DATA1_3	DATA1_2	DATA1_1	DATA1_0	read/write	0110010
SWK_DATA0_CTRL	DATA0_7	DATA0_6	DATA0_5	DATA0_4	DATA0_3	DATA0_2	DATA0_1	DATA0_0	read/write	0110011
SWK_CAN_FD_CTRL	reserved	reserved	DIS_ERR_CNT	RX_FILT_BYP	FD_FILTER_2	FD_FILTER_1	FD_FILTER_0	CAN_FD_EN	read/write	0110100
SELECTIVEWAKETRIM&CONFIGURATIONSREGISTERS										
SWK_OSC_TRIM_CTRL	TRIM_OSC_7	TRIM_OSC_6	TRIM_OSC_5	TRIM_OSC_4	TRIM_OSC_3	TRIM_OSC_2	TRIM_OSC_1	TRIM_OSC_0	read/write	0111000
SWK_OPT_CTRL	RX_WK_SEL	reserved	reserved	TRIM_OSC_12	TRIM_OSC_11	TRIM_OSC_10	TRIM_OSC_9	TRIM_OSC_8	read/write	0111001
SWK_OSC_CAL_H_STAT	OSC_CAL_H_7	OSC_CAL_H_6	OSC_CAL_H_5	OSC_CAL_H_4	OSC_CAL_H_3	OSC_CAL_H_2	OSC_CAL_H_1	OSC_CAL_H_0	read	0111010
SWK_OSC_CAL_L_STAT	OSC_CAL_L_7	OSC_CAL_L_6	OSC_CAL_L_5	OSC_CAL_L_4	OSC_CAL_L_3	OSC_CAL_L_2	OSC_CAL_L_1	OSC_CAL_L_0	read	0111011
SWK_CDR_CTRL1	reserved	reserved	reserved	reserved	SELFILT_1	SELFILT_0	reserved	CDR_EN	read/write	0111100
SWK_CDR_CTRL2	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	SEL_OSC_CLK_1	SEL_OSC_CLK_0	read/write	0111101
SWK_CDR_LIMIT_HIGH	CDR_LIM_H_7	CDR_LIM_H_6	CDR_LIM_H_5	CDR_LIM_H_4	CDR_LIM_H_3	CDR_LIM_H_2	CDR_LIM_H_1	CDR_LIM_H_0	read/write	0111110
SWK_CDR_LIMIT_LOW	CDR_LIM_L_7	CDR_LIM_L_6	CDR_LIM_L_5	CDR_LIM_L_4	CDR_LIM_L_3	CDR_LIM_L_2	CDR_LIM_L_1	CDR_LIM_L_0	read/write	0111111
STATUSREGISTERS										
SUP_STAT_2	reserved	VS_UV	reserved	VCC3_OC	VCC3_UV	VCC3_OT	VCC1_OV	VCC1_WARN	read/clear	1000000
SUP_STAT_1	POR	VSHS_UV	VSHS_OV	VCC2_OT	VCC2_UV	VCC1_SC	VCC1_UV_FS	VCC1_UV	read/clear	1000001
THERM_STAT	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	TSD2	TSD1	TPW	read/clear	1000010
DEV_STAT	DEV_STAT_1	DEV_STAT_0	reserved	reserved	WD_FAIL_1	WD_FAIL_0	SPI_FAIL	FAILURE	read/clear	1000011
BUS_STAT_1	reserved	LIN1_FAIL_1	LIN1_FAIL_0	CANTO	SYSERR	CAN_FAIL_1	CAN_FAIL_0	VCAN_UV	read/clear	1000100
BUS_STAT_2	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	LIN2_FAIL_1	LIN2_FAIL_0	reserved	read/clear	1000101
WK_STAT_1	LIN2_WU	LIN1_WU	CAN_WU	TIMER_WU	reserved	WK3_WU	WK2_WU	WK1_WU	read/clear	1000110
WK_STAT_2	reserved	reserved	GPIO2_WU	GPIO1_WU	reserved	reserved	reserved	reserved	read/clear	1000111
WK_LVL_STAT	SBC_DEV_LVL	CFGP	GPIO2_LVL	GPIO1_LVL	reserved	WK3_LVL	WK2_LVL	WK1_LVL	read	1001000
HS_OC_OT_STAT	reserved	reserved	reserved	reserved	HS4_OC_OT	HS3_OC_OT	HS2_OC_OT	HS1_OC_OT	read/clear	1010100
HS_OL_STAT	reserved	reserved			HS4_OL	HS3_OL	HS2_OL	HS1_OL	read/clear	1010101
SELECTIVEWAKESTATUSREGISTERS										
SWK_STAT	reserved	SYNC	reserved	reserved	CANSIL	SWK_SET	WUP	WUF	read	1110000
SWK_ECNT_STAT	reserved	reserved	ECNT_5	ECNT_4	ECNT_3	ECNT_2	ECNT_1	ECNT_0	read	1110001
SWK_CDR_STAT1	N_AVG_11	N_AVG_10	N_AVG_9	N_AVG_8	N_AVG_7	N_AVG_6	N_AVG_5	N_AVG_4	read	1110010
SWK_CDR_STAT2	N_AVG_3	N_AVG_2	N_AVG_1	N_AVG_0	reserved	reserved	reserved	reserved	read	1110011
FAMILYANDPRODUCTREGISTERS										
FAM_PROD_STAT	FAM_3	FAM_2	FAM_1	FAM_0	PROD_3	PROD_2	PROD_1	PROD_0	read	1111110

图 62　　CLE9263-3BQX SPI 位映射（包括选择性唤醒）

16.5　SPI控制寄存器

读/写操作（另见SPI编程）：

- *'POR*/软复位值'定义了在POR 或*SBC*复位后的寄存器内容
- "复位值"定义了SBC重新启动之后寄存器的内容。 其中"x"表示该位未更改
- 一个 16 位*SPI* 命令由两个字节组成：
  - 7 位地址和用于寄存器访问模式的附加位
  - 数据字节之后

  以下位定义的编号指的是数据字节，对应于位 D0...D7 和SPI位 8...15（另见前图）

- 位类型有三种：
  - 'r' = READ：只读位（或保留位）
  - ‘rw’= READ/WRITE：可读和可写位
  - 'rwh' = READ/WRITE/硬件：可读/可写位，也可以由SBC硬件修改
- 保留位标记为“保留”，且始终读取为“0”。相应的位也应编程为"0"
- 读取寄存器是通过设置SPI逐字节进行的。位 7 设置为“0”（= 只读）
- 通过将 SPI 位 7 设置为“1”，可以按字节写入寄存器
- SPI 控制位通常不会自动清除或更改。这必须由微控制器通过SPI编程完成。此行为的例外情况在相应的寄存器描述中说明，相应的位类型用“h”标记，表示SBC 可以更改寄存器内容

寄存器访问

寄存器按字寻址

16.5.1 通用控制寄存器

16.5.1.1 寄存器 M_S_CTRL

M_S_CTRL

Address: Address 000 0001_B

Mode- and Supply Control (Address 000 0001B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00x0\ 00xx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
MODE		**VCC3_ON**	**VCC2_ON**		**VCC1_OV_RST**	**VCC1_RT**	
rwh		rwh	rwh		rwh	rw	

Field	Bits	Type	Description
MODE	7:6	rwh	**SBC Mode Control** 00_B SBC Normal Mode 01_B SBC Sleep Mode 10_B SBC Stop Mode 11_B SBC Reset: Soft Reset is executed (configuration of RO triggering in bit SOFT_RESET_RO)
VCC3_ON	5	rwh	**VCC3 Mode Control** 0_B VCC3 OFF 1_B VCC3 is enabled (as independent voltage regulator)
VCC2_ON	4:3	rwh	**VCC2 Mode Control** 00_B VCC2 off 01_B VCC2 on in Normal Mode 10_B VCC2 on in Normal and Stop Mode 11_B VCC2 always on (except in SBC Fail-Safe Mode)
VCC1_OV_RST	2	rwh	**VCC1 Overvoltage leading to Restart/Fail-Safe Mode enable** 0_B VCC1_OV is set in case of VCC1_OV; no SBC Restart or Fail-Safe is entered for VCC1_OV 1_B VCC1_OV is set in case of VCC1_OV; depending on the device configuration SBC Restart or SBC Fail-Safe Mode is entered (see Device Configuration and SBC Init Mode)
VCC1_RT	1:0	rw	**VCC1 Reset Threshold Control** 00_B Vrt1 selected (highest threshold) 01_B Vrt2 selected 10_B Vrt3 selected 11_B Vrt4 selected

注释：

1. *无法通过SPI命令从停止模式更改为休眠模式。另请参阅状态机章节。*
2. *进入SBC重启模式后，MODE 位将自动置位为SBC正常模式。进入SBC重启模式和OT 后，VCC2_ON 位将自动置位为OFF。*
3. *使用写入命令时，SPI 输出始终会显示先前写入的状态（之前已编程的内容）。*

16.5.1.2 寄存器 HW_CTRL

HW_CTRL

Address: Address 000 0010_B

Mode- and Supply Control (Address 000 0010B)

POR/Soft Reset Valuey000 $y000_B$: y000 $y000_B$; Restart Value: xx0x0 $x00x_B$

Field	Bits	Type	Description
VCC3_V_CFG	7	rw	**VCC3 Output Voltage Configuration (if configured as independent voltage regulator)** 0_B VCC3 has same output voltage as VCC1 1_B VCC3 is configured to either 3.3 V or 1.8 V (depending on VCC1 derivative)
SOFT_RESET_RO	6	rw	**Soft Reset Configuration** 0_B RO will be triggered (pulled low) during a Soft Reset 1_B No RO triggering during a Soft Reset
FO_ON	5	rwh	**Failure Output Activation (FO1…3)** 0_B FOx not activated by software, FO can be activated by defined failures (see Fail Outputs) 1_B FOx activated by software (via SPI)
VCC3_VS_UV_OFF	4	rw	**VCC3 VS_UV shutdown configuration** 0_B VCC3 will be disabled automatically at VS_UV 1_B VCC3 will stay enabled even below VS_UV
VCC3_LS	3	rw	**VCC3 Configuration** 0_B VCC3 operating as a stand-alone regulator 1_B VCC3 in load sharing operation with VCC1
Reserved	2	r	**Reserved, always reads as 0**
VCC3_LS_STP_ON	1	rw	**VCC3 Load Sharing in SBC Stop Mode configuration** 0_B VCC3 in LS configuration during SBC Stop Mode and high-power mode: disabled 1_B VCC3 in LS configuration during SBC Stop Mode and high-power mode: enabled
CFG	0	rw	**Configuration Select (see also Device Configuration)** 0_B Depending on hardware configuration, SBC Restart or Fail-Safe Mode is reached after the 2. watchdog trigger failure (=default) - Config 3/4 1_B Depending on hardware configuration, SBC Restart or Fail-Safe Mode is reached after the 1. watchdog trigger failure - Config 1/2

注释：

1. *若发生故障触发了FOx输出，清除FO_ON位并不会禁用FOx输出。在这种情况下，必须通过清除FAILURE位来禁用FOx输出。如果软件设置了FO_ON位，那么在进入SBC重启模式后，SBC会清除该位，且FOx输出将被禁用。有关FOx激活和停用的更多信息，另见故障输出。*
2. *触发SBC软复位后，如果VCC3_V_CFG 和VCC3_LS 位之前是置位，则它们不会复位，即保持不变，这由POR /Soft 复位值中的"y"表示。POR 值：0000 0000，软复位值：xx00 x00x。*
3. *VCC3_LS_STP_ON：负载共享和停止模式下VCC1 活动峰值的组合。*

16.5.1.3 寄存器 WD_CTRL

WD_CTRL

Address: Address 000 0011_B

Watchdog Control (Address 000 0011B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0001\ 0100_B$; Restart Value: $x0xx\ 0100_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
CHECKSUM	**WD_STM_EN_0**	**WD_WIN**	**WD_EN_WK_BUS**	**Reserved**	**WD_TIMER**		
rw	rwh	rw	rw	r	rwh		

Field	Bits	Type	Description
CHECKSUM	7	rw	**Watchdog Setting Check Sum Bit** The sum of bits 7:0 needs to have even parity (see Watchdog Setting Check Sum) 0_B Counts as 0 for checksum calculation 1_B Counts as 1 for checksum calculation
WD_STM_EN_0	6	rwh	**Watchdog Deactivation during Stop Mode, bit 0 (Watchdog during SBC Stop Mode)** 0_B Watchdog is active in Stop Mode 1_B Watchdog is deactivated in Stop Mode
WD_WIN	5	rw	**Watchdog Type Selection** 0_B Watchdog works as a Time-Out watchdog 1_B Watchdog works as a Window watchdog
WD_EN_WK_BUS	4	rw	**Watchdog Enable after Bus (CAN/LIN) Wake in SBC Stop Mode** 0_B Watchdog will not start after a CAN/LINx wake 1_B Watchdog starts with a long open window after CAN/LINx Wake
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
WD_TIMER	2:0	rwh	**Watchdog Timer Period** 000_B 10 ms 001_B 20 ms 010_B 50 ms 011_B 100 ms 100_B 200 ms 101_B 500 ms 110_B 1000 ms 111_B reserved

注释：

1. *有关在SBC停止模式下的看门狗的更多信息，另见SBC停止模式期间的看门狗。*
2. *有关位WD_EN_WK_BUS的影响的更多信息，请参阅由于总线唤醒，SBC停止模式下的看门狗启动。*
3. *有关校验和的计算，请参阅看门狗设置校验。*

16.5.1.4 寄存器 BUS_CTRL_1

BUS_CTRL_1 (SWK)

Address: Address 000 0100_B

Bus Control (Address 000 0100B)

POR/Soft Reset Value100 0000_B: 00100 0000_B; Restart Value: xxxy0000 y0y yy_B

7	6	5	4	3	2	1	0
LIN_FLASH	**LIN_LSM**	**LIN_TXD_TO**	**LIN**		**CAN**		
rw	rw	rw	rwh		rwh		

Field	Bits	Type	Description
LIN_FLASH	7	rw	**LIN Flash Programming Mode** 0_B Slope control mechanism active 1_B Deactivation of slope control for baud rates up to 115kBaud
LIN_LSM	6	rw	**LIN Low-Slope Mode Selection** 0_B LIN Normal-Mode is activated 1_B LIN Low-Slope Mode (10.4kBaud) activated
LIN_TXD_TO	5	rw	**LIN TXD Time-Out Control** 0_B TXD Time-Out feature disabled 1_B TXD Time-Out feature enabled
LIN	4:3	rwh	**LIN-Module Modes** 00_B LIN OFF 01_B LIN is wake capable 10_B LIN Receive Only Mode 11_B LIN Normal Mode
CAN	2:0	rwh	**HS-CAN Module Modes** 000_B CAN OFF 001_B CAN is wake capable (no SWK) 010_B CAN Receive Only Mode (no SWK) 011_B CAN Normal Mode (no SWK) 100_B CAN OFF 101_B CAN is wake capable with SWK 110_B CAN Receive Only Mode with SWK 111_B CAN Normal Mode with SWK

注释：

1. *一旦CSN变为“1”，LIN_FLASH和LIN_LSM位的更改将立即生效。*
2. *LIN 和CAN 收发器的复位值标记为“y”，因为它们会根据更改的原因而变化 - 请参见下文。*
3. *有关不同SBC 模式下LIN 和CAN 收发器的详细状态变化，请参见图 31 及功能描述。*
4. *位CAN_2 不会被SBC 修改，只能由用户修改。因此，相对于位CAN_0 和位CAN_1，访问类型为“rw”。*
5. *如果SYSERR = 0 且CAN收发器在进入SBC休眠模式时配置为“x11”，则其将自动设置为唤醒模式（“x01”）。SPI位将被更改为唤醒模式。如果配置为“x10”且进入SBC休眠模式，则收发器将设置为唤醒模式；而如果配置为“x10”时进入SBC停止模式，则收发器将保持仅接收模式。如果之前配置为唤醒模式或关闭，则模式将保持不变。仅接收模式必须由用户在进入SBC停止模式之前选择。有关选择性唤醒模式更改的详细信息，请参阅选择性唤醒 (SWK) 的SBC模式。*
6. *故障处理机制：当器件因故障（TSD2、WD-Failure...）进入故障安全模式时，唤醒寄存器寄存器BUS_CTRL_1 、寄存器BUS_CTRL_2 和寄存器WK_CTRL_2 被复位为以下值（=唤醒源）：'xxx0 1 001'、'0000 0001'和'x0x0 0111'，以确保设备可以再次被唤醒。*

16.5.1.5 寄存器 BUS_CTRL_2

BUS_CTRL_2

Address: Address 000 0101_B

Bus Control (Address 000 0101B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00x0\ 000y0y_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**I_PEAK_TH**	**Reserved**			**LIN2**	
r		rw	r			rwh	

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
I_PEAK_TH	5	rw	**VCC1 Active Peak Threshold Selection** 0_B low VCC1 active peak threshold selected (ICC1,peak_1) 1_B higher VCC1 active peak threshold selected (ICC1,peak_2)
Reserved	4:2	r	**Reserved, always reads as 0**
LIN2	1:0	rwh	**LIN2-Module Modes** 00_B LIN2 OFF 01_B LIN2 is wake capable 10_B LIN2 Receive Only Mode 11_B LIN2 Normal Mode

注释：

1. *位I_PEAK_TH 可以在SBC初始化模式和正常模式下修改。在SBC停止模式下，此位为只读，但尝试在SBC停止模式下修改此位时，SPI_FAIL 不会置位，并且在INT_GLOBA L 置位情况下不会触发中断。*
2. *有关不同SBC 模式下LIN 和CAN 收发器的详细状态变化，请参见图 31 及功能描述。*
3. *故障处理机制：当器件因故障（TSD2、WD-Failure...）进入故障安全模式时，唤醒寄存器寄存器BUS_CTRL_1 和寄存器WK_CTRL_2 被复位为以下值（=唤醒源）'xxx0 1001'和'x0x0 0111'，以确保设备可以再次被唤醒。*

16.5.1.6 寄存器 WK_CTRL_1

WK_CTRL_1

Address: Address 000 0110_B

Internal Wake Input Control (Address 000 0110B)POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

0000_B: 0000 0000_B; Restart Value: xx00 0000_B

7	6	5	4	3	2	1	0
TIMER2_WK_EN	**TIMER1_WK_EN**	**Reserved**			**WD_STM_EN_1**	**Reserved**	
rw	rw	r			rwh	r	

Field	Bits	Type	Description
TIMER2_WK_EN	7	rw	**Timer2 Wake Source Control (for cyclic wake)** 0_B Timer2 wake disabled 1_B Timer2 is enabled as a wake source
TIMER1_WK_EN	6	rw	**Timer1 Wake Source Control (for cyclic wake)** 0_B Timer1 wake disabled 1_B Timer1 is enabled as a wake source
Reserved	5:3	r	**Reserved, always reads as 0**
WD_STM_EN_1	2	rwh	**Watchdog Deactivation during Stop Mode, bit 1 (**Watchdog during SBC Stop Mode**)** 0_B Watchdog is active in Stop Mode 1_B Watchdog is deactivated in Stop Mode
Reserved	1:0	r	**Reserved, always reads as 0**

16.5.1.7 寄存器 WK_CTRL_2

WK_CTRL_2

Address: Address 000 0111_B

External Wake Source Control (Address 000 0111B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0111_B$; Restart Value: $x0x0\ 0xxx_B$

7	6	5	4 3	2	1	0
INT_GLOBAL	**Reserved**	**WK_MEAS**	**Reserved**	**WK3_EN**	**WK2_EN**	**WK1_EN**
rw	r	rw	r	rw	rw	rw

Field	Bits	Type	Description
INT_GLOBAL	7	rw	**Global Interrupt Configuration (see also** Block and Functional Description**)** 0_B Only wake sources trigger INT (default) 1_B All status information register bits will trigger INT (including all wake sources)
Reserved	6	r	**Reserved, always reads as 0**
WK_MEAS	5	rw	**WK/Measurement selection (see also** Alternate Measurement Function with WK1 and WK2**)** 0_B WK functionality enabled for WK1 and WK2 1_B Measurement functionality enabled; WK1 and WK2 are disabled as wake sources, i.e. bits WK1/2_EN bits are ignored
Reserved	4:3	r	**Reserved, always reads as 0**
WK3_EN	2	rw	**WK3 Wake Source Control** 0_B WK3 wake disabled 1_B WK3 is enabled as a wake source
WK2_EN	1	rw	**WK2 Wake Source Control** 0_B WK2 wake disabled 1_B WK2 is enabled as a wake source
WK1_EN	0	rw	**WK1 Wake Source Control** 0_B WK1 wake disabled 1_B WK1 is enabled as a wake source

注释：

1. *WK_MEAS 默认配置为标准 WK 功能（WK1 和 WK2）。激活 WK_MEAS 时，WK1_EN 和 WK2_EN 位将被忽略。如果位被置位为'1'，则在正常模式下测量功能启用，并且忽略位WK1_EN和WK2_EN。WK1/"_LVL 位也需要忽略。*
2. *通过将寄存器BUS_CTRL_1和寄存器BUS_CTRL_2中的相应位设置为"可唤醒"，来选择LINx和CAN作为唤醒源。*
3. *故障处理机制：当器件因故障（TSD2、WD-Failure...）进入故障安全模式时，唤醒寄存器寄存器BUS_CTRL_1,寄存器BUS_CTRL_2 和寄存器WK_CTRL_2 被复位为以下值（=唤醒源）：'xxx0 1 001'、'0000 0001'和'x0x0 0111'，以确保设备可以再次被唤醒。*

16.5.1.8 寄存器 WK_PUPD_CTRL

WK_PUPD_CTRL

Address: Address 000 1000_B

Wake Input Level Control (Address 000 1000B)POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00xx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**WK3_PUPD**		**WK2_PUPD**		**WK1_PUPD**	
r		rw		rw		rw	

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
WK3_PUPD	5:4	rw	**WK3 Pull-Up/Pull-Down Configuration** 00_B No pull-up/pull-down selected 01_B Pull-down resistor selected 10_B Pull-up resistor selected 11_B Automatic switching to pull-up or pull-down
WK2_PUPD	3:2	rw	**WK2 Pull-Up/Pull-Down Configuration** 00_B No pull-up/pull-down selected 01_B Pull-down resistor selected 10_B Pull-up resistor selected 11_B Automatic switching to pull-up or pull-down
WK1_PUPD	1:0	rw	**WK1 Pull-Up/Pull-Down Configuration** 00_B No pull-up/pull-down selected 01_B Pull-down resistor selected 10_B Pull-up resistor selected 11_B Automatic switching to pull-up or pull-down

16.5.1.9 寄存器 WK_FLT_CTRL

WK_FLT_CTRL

Address: Address 000 1001_B

Wake Input Filter Time Control (Address 000 1001B)POR/ Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00xx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**WK3_FLT**		**WK2_FLT**		**WK1_FLT**	
r		rw		rw		rw	

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
WK3_FLT	5:4	rw	**WK3 Filter Time Configuration** 00_B Configuration A: Filter with 16 µs filter time (static sensing) 01_B Configuration B: Filter with 64 µs filter time (static sensing) 10_B Configuration C: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer1 11_B Configuration D: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer2
WK2_FLT	3:2	rw	**WK2 Filter Time Configuration** 00_B Configuration A: Filter with 16 µs filter time (static sensing) 01_B Configuration B: Filter with 64 µs filter time (static sensing) 10_B Configuration C: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer1 11_B Configuration D: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer2
WK1_FLT	1:0	rw	**WK1 Filter Time Configuration** 00_B Configuration A: Filter with 16 µs filter time (static sensing) 01_B Configuration B: Filter with 64 µs filter time (static sensing) 10_B Configuration C: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer1 11_B Configuration D: Filtering at the end of the on-time; a filter time of 16 µs (cyclic sensing) is selected, Timer2

注释： *选择滤波时间配置时，用户必须确保在循环检测操作期间将相应时钟分配给至少一个 HS 开关。*

16.5.1.10 寄存器 TIMER1_CTRL

TIMER1_CTRL

Address: Address 000 1100_B

Timer1 Control and Selection (Address 000 1100B) POR/ Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**TIMER1_ON**			**Reserved**	**TIMER1_PER**		
r	rwh			r	rwh		

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
TIMER1_ON	6:4	rwh	**Timer1 On-Time Configuration** 000_B OFF/Low (timer not running, HSx output is low) 001_B 0.1 ms on-time 010_B 0.3 ms on-time 011_B 1.0 ms on-time 100_B 10 ms on-time 101_B 20 ms on-time 110_B OFF/HIGH (timer not running, HSx output is high) 111_B reserved
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
TIMER1_PER	2:0	rwh	**Timer1 Period Configuration** 000_B 10 ms 001_B 20 ms 010_B 50 ms 011_B 100 ms 100_B 200 ms 101_B 1 s 110_B 2 s 111_B reserved

注释:

1. *必须先分配一个定时器，然后在配置好导通时间后立即自动激活。*
2. *如果选择循环检测，并且在SBC重启模式期间清除HS 开关，则定时器设置（周期和开启时间）也会被清除，以避免错误地检测开关。*
3. *如果定时器被设置为唤醒源，并且循环检测正在运行，那么循环检测和循环唤醒将同时激活。*

16.5.1.11 寄存器 TIMER2_CTRL

TIMER2_CTRL

Address: Address 000 1101_B

Timer2 Control and selection (Address 000 1101B) POR/ Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**TIMER2_ON**			**Reserved**	**TIMER2_PER**		
r	rwh			r	rwh		

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
TIMER2_ON	6:4	rwh	**Timer2 On-Time Configuration** 000_B OFF/Low (timer not running, HSx output is low) 001_B 0.1 ms on-time 010_B 0.3 ms on-time 011_B 1.0 ms on-time 100_B 10 ms on-time 101_B 20 ms on-time 110_B OFF/HIGH (timer not running, HSx output is high) 111_B reserved
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
TIMER2_PER	2:0	rwh	**Timer2 Period Configuration** 000_B 10 ms 001_B 20 ms 010_B 50 ms 011_B 100 ms 100_B 200 ms 101_B 1 s 110_B 2 s 111_B reserved

注释：

1. *必须先分配一个定时器，然后在配置好导通时间后立即自动激活。*

2. 2.

16.5.1.12 寄存器 SW_SD_CTRL

SW_SD_CTRL

Address: Address 001 0000_B

Switch Shutdown Control (Address 001 0000B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0xxx\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**HS_OV_SD_EN**	**HS_UV_SD_EN**	**HS_OV_UV_REC**	**Reserved**			
r	rw	rw	rw	r			

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
HS_OV_SD_EN	6	rw	**Shutdown Disabling of HS1…4 in case of VSHS OV** 0_B Shutdown enabled in case of VSHS OV 1_B Shutdown disabled in case of VSHS OV
HS_UV_SD_EN	5	rw	**Shutdown Disabling of HS1…4 in case of VSHS UV** 0_B Shutdown enabled in case of VSHS UV 1_B Shutdown disabled in case of VSHS UV
HS_OV_UV_REC	4	rw	**Switch Recovery after Removal of VSHS OV/UV for HS1…4** 0_B Switch recovery is disabled 1_B Previous state before VSHS OV/UV is enabled after OV/UV condition is removed
Reserved	3:0	r	**Reserved, always reads as 0**

16.5.1.13 寄存器 HS_CTRL1

HS_CTRL1

Address: Address 001 0100_B

High-Side Switch Control 1 (Address 001 0100B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**HS2**			**Reserved**	**HS1**		
r	rwh			r	rwh		

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
HS2	6:4	rwh	**HS2 Configuration** 000_B Off 001_B On 010_B Controlled by Timer1 011_B Controlled by Timer2 100_B Controlled by PWM1 101_B Controlled by PWM2 110_B Reserved 111_B Reserved
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
HS1	2:0	rwh	**HS1 Configuration** 000_B Off 001_B On 010_B Controlled by Timer1 011_B Controlled by Timer2 100_B Controlled by PWM1 101_B Controlled by PWM2 110_B Reserved 111_B Reserved

注释： *在过流和过温的情况下，开关位也可复位。*

16.5.1.14 寄存器 HS_CTRL2

HS_CTRL2

Address: Address 001 0101_B

High-Side Switch Control 2 (Address 001 0101B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**HS4**			**Reserved**	**HS3**		
r	rwh			r	rwh		

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
HS4	6:4	rwh	**HS4 Configuration** 000_B Off 001_B On 010_B Controlled by Timer1 011_B Controlled by Timer2 100_B Controlled by PWM1 101_B Controlled by PWM2 110_B Reserved 111_B Reserved
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
HS3	2:0	rwh	**HS3 Configuration** 000_B Off 001_B On 010_B Controlled by Timer1 011_B Controlled by Timer2 100_B Controlled by PWM1 101_B Controlled by PWM2 110_B Reserved 111_B Reserved

注释： *在过流和过温的情况下，开关位也可复位。*

16.5.1.15 寄存器 GPIO_CTRL

GPIO_CTRL

Address: Address 001 0111$_B$

GPIO Configuration Control (Address 001 0111B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000$_B$; Restart Value: XXXX XXXX$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
FO_DC		**GPIO2**			**GPIO1**		
rw		rw			rw		

Field	Bits	Type	Description
FO_DC	7:6	rw	**Duty Cycle Configuration of FO3 (if selected)** 00_B 20% 01_B 10% 10_B 5% 11_B 2.5%
GPIO2	5:3	rw	**GPIO2 Configuration** 000_B FO3 selected 001_B FO3 selected 010_B FO3 selected 011_B FO3 selected 100_B OFF 101_B Wake input enabled (16µs static filter) 110_B Low-Side Switch ON 111_B High-Side Switch ON
GPIO1	2:0	rw	**GPIO1 Configuration** 000_B FO2 selected 001_B FO2 selected 010_B FO2 selected 011_B FO2 selected 100_B OFF 101_B Wake input enabled (16 µs static filter) 110_B Low-Side Switch ON 111_B High-Side Switch ON

注释： *选择滤波时间配置时，用户必须确保在循环感应操作期间将相应定时器分配给至少一个HS开关*

16.5.1.16 寄存器 PWM1_CTRL

PWM1_CTRL

Address: Address 001 1000_B

PWM1 Configuration Control (Address 001 1000B) POR/ Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000_B; Restart Value: XXXX XXXX_B

7	6	5	4	3	2	1	0
PWM1_DC							
rw							

Field	Bits	Type	Description
PWM1_DC	7:0	rw	**PWM1 Duty Cycle (bit0=LSB; bit7=MSB)** $0000\ 0000_B$ 100% OFF $xxxx\ xxxx_B$ ON with DC fraction of 255 $1111\ 1111_B$ 100% ON

注释： *PWM期间的最小导通时间受相应HS 开关的实际开启和关闭时间的限制，例如，PWM 设置“0000 0001”无法实现。*

16.5.1.17 寄存器 PWM2_CTRL

PWM2_CTRL

Address: Address 001 1001_B

PWM2 Configuration Control (Address 001 1001B) POR/ Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000_B; Restart Value: XXXX XXXX_B

7	6	5	4	3	2	1	0
PWM2_DC							
rw							

Field	Bits	Type	Description
PWM2_DC	7:0	rw	**PWM2 Duty Cycle (bit0=LSB; bit7=MSB)** 0000 0000_B 100% OFF XXXX XXXX_B ON with DC fraction of 255 1111 1111_B 100% ON

注释： *PWM期间的最小导通时间受相应HS 开关的实际开启和关闭时间的限制，例如，PWM 设置“0000 0001”无法实现。*

16.5.1.18 寄存器 PWM_FREQ_CTRL

PWM_FREQ_CTRL

Address: Address 001 1100$_B$

PWM Frequency Configuration Control (Address 001 1100B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000$_B$; Restart Value: 0000 0x0x$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					**PWM2_FREQ**	**Reserved**	**PWM1_FREQ**
r					rw	r	rw

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:3	r	**Reserved, always reads as 0**
PWM2_FREQ	2	rw	**PWM2 Frequency Selection** 0_B 200 Hz configuration 1_B 400 Hz configuration
Reserved	1	r	**Reserved, always reads as 0**
PWM1_FREQ	0	rw	**PWM1 Frequency Selection** 0_B 200 Hz configuration 1_B 400 Hz configuration

注释：

1. *在PWM期间的最小导通时间受相应HS 开关的实际开启和关闭时间的限制，例如， PWM 设置“000 0001”无法实现。*
2. *实际PWM 信号频率与参数*fCLKSBC中指定的内部时钟公差相关。

16.5.1.19 寄存器 SYS_STATUS_CTRL

SYS_STATUS_CTRL

Address: Address 001 1110_B

System Status Control (Address 001 1110B) POR Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value/Soft Reset Value: $XXXX\ XXXX_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
SYS_STAT							
rw							

Field	Bits	Type	Description
SYS_STAT	7:0	rw	**System Status Control Byte (bit0=LSB; bit7=MSB)** Dedicated byte for system configuration, access only by microcontroller. Cleared after power up and Soft Reset

注释：

1. *寄存器SYS_STATUS_CTRL是默认值规则的一个例外，也就是说，即使在软复位之后，它仍会保持其配置值。*
2. *该字节用于存储微控制器的ECU系统配置，并且只能在SBC正常模式下访问。SBC 无法访问该字节，并且在故障安全模式或SBC 重启模式后也不会清除该字节。它允许微控制器快速存储系统配置，而不会丢失数据。*

16.5.2 选择性唤醒控制寄存器

16.5.2.1 寄存器 SWK_CTRL

SWK_CTRL

Address: Address 010 0000$_B$

CAN Selective Wake Control (Address 010 0000B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000$_B$; Restart Value: xxxx 0000$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
OSC_CAL	**TRIM_EN**		**CANTO_MASK**	**Reserved**			**CFG_VAL**
rw	rw		rw	r			rwh

Field	Bits	Type	Description
OSC_CAL	7	rw	**Oscillator Calibration Mode** 0_B Oscillator Calibration is disabled 1_B Oscillator Calibration is enabled
TRIM_EN	6:5	rw	**(Un)locking mechanism of oscillator recalibration** 00_B Locked 01_B Locked 10_B Locked 11_B Unlocked
CANTO_MASK	4	rw	**CAN Time Out Masking** 0_B CAN time-out is masked - no interrupt (on pin INT) is triggered 1_B CAN time-out is signaled on INT
Reserved	3:1	r	**Reserved, always reads as 0**
CFG_VAL	0	rwh	**SWK Configuration valid** 0_B Configuration is not valid (SWK not possible) 1_B SWK configuration valid, needs to be set to enable SWK

注释:

1. *TRIM_EN 解锁振荡校准模式。只有位组合“11”才是有效的解锁方式。引脚TXDCAN 用于振荡器同步（微调）。*
2. *微控制器需要验证 SWK 配置并将“CFG_VAL”置位为“1”。只有当 CFG_VAL' 为 '1' 时， SBC才会使 SWK 生效。在唤醒或POR后，或者微控制器更改了SWK配置数据后， SBC 将自动清除位。*
3. *CANTO 位仅在CAN_2 为置位时在BUS_STAT 内更新。因此，只有 CAN_2 （SWK 启用）在SBC正常和停止模式下置位时，才会在 CANTO 发生时发出中断信号。*
4. *TRIM_EN 还解锁对SWK_OPT_CTRL 寄存器的写入，以便启用选择性唤醒的备用低功耗接收器来优化静态电流损耗。只有位组合“11”才能解锁校准/配置。*
5. *在SBC停止模式下，任何对CAN或SWK 配置寄存器的写入命令都将导致CFG_VAL 设置为“0” （SWK 无效）。*

16.5.2.2 寄存器 SWK_BTL1_CTRL

SWK_BTL1_CTRL

Address: Address 010 0001$_B$

SWK Bit Timing Logic Control1 (Address 010 0001B) POR/ Soft Reset Value: 1010 0000B;

1010 0000$_B$: 1010 0000$_B$; Restart Value: XXXX XXXX$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
TBIT							
rw							

Field	Bits	Type	Description
TBIT	7:0	rw	**Number of Time Quanta in a Bit Time** Represents the number of time quanta in a bit time. Quanta is depending on SEL_OSC_CLK<1:0> from the Register SWK_CDR_CTRL2.

16.5.2.3 寄存器 SWK_BTL2_CTRL

SWK_BTL2_CTRL

Address: Address 010 0010_B

SWK Bit Timing Control2 (Address 010 0010B)

POR/Soft Reset Value$0011\ 0011_B$: $0011\ 0011_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**SP**					
r		rw					

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
SP	5:0	rw	**Sampling Point Position** Represents the sampling point position (fractional number < 1). Example: 0011 0011 = 0.796875 (~80%)

16.5.2.4 寄存器 SWK_ID3_CTRL

SWK_ID3_CTRL

Address: Address 010 0011$_B$

SWK WUF Identifier bits 28…21 (Address 010 0011B)

POR/Soft Reset Value$_B$: 0000 0000$_B$; Restart Value: xxxx xxxx$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
ID28_21							
rw							

Field	Bits	Type	Description
ID28_21	7:0	rw	**WUF Identifier Bits 28...21**

注释: *请注释标准标识符和扩展标识符的配置。标准标识符配置为ID18...ID28 位*

16.5.2.5 寄存器 SWK_ID2_CTRL

SWK_ID2_CTRL

Address: Address 010 0100_B

SWK WUF Identifier bits 20…13 (Address 010 0100B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
ID20_13							
rw							

Field	Bits	Type	Description
ID20_13	7:0	rw	**WUF Identifier Bits 20...13**

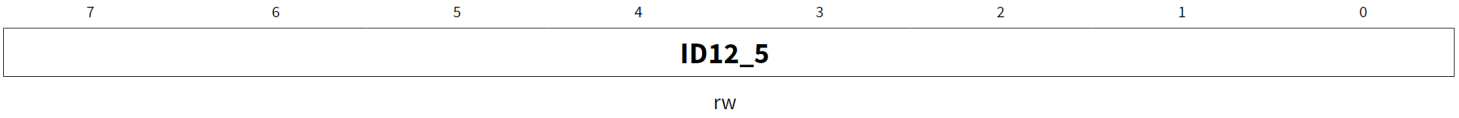
16.5.2.6 寄存器 SWK_ID1_CTRL

SWK_ID1_CTRL

Address: Address 010 0101_B

SWK WUF Identifier bits 12…5 (Address 010 0101B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$



Field	Bits	Type	Description
ID12_5	7:0	rw	**WUF Identifier Bits 12...5**

16.5.2.7 寄存器 SWK_ID0_CTRL

SWK_ID0_CTRL

Address: Address 010 0110_B

SWK WUF Identifier bits 4…0 (Address 010 0110B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0xxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**ID4_0**					**RTR**	**IDE**
r	rw					rw	rw

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
ID4_0	6:2	rw	**WUF Identifier Bits 4...0**
RTR	1	rw	**Remote Transmission Request Field (acc. ISO 11898-1)** 0_B Normal Data Frame 1_B Remote Transmission Request
IDE	0	rw	**Identifier Extension Bit** 0_B Standard Identifier Length (11 bit) 1_B Extended Identifier Length (29 bit)

注释： *根据ISO11898-2:2016 标准，唤醒帧不允许设置RTR = 1。*

16.5.2.8 寄存器 SWK_MASK_ID3_CTRL

SWK_MASK_ID3_CTRL

Address: Address 010 0111_B

SWK WUF Identifier Mask bits 28…21 (Address 010 0111B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
MASK_ID28_21							
rw							

Field	Bits	Type	Description
MASK_ID28_21	7:0	rw	**WUF Identifier Mask Bits 28...21** 0_B Unmasked - bit is ignored 1_B Masked - bit is compared in CAN frame

注释： *屏蔽WUF是通过将相应的MASK设置为“1”来完成的。*

16.5.2.9 寄存器 SWK_MASK_ID2_CTRL

SWK_MASK_ID2_CTRL

Address: Address 010 1000_B

SWK WUF Identifier Mask bits 20…13 (Address 010 1000B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
MASK_ID20_13							
rw							

Field	Bits	Type	Description
MASK_ID20_13	7:0	rw	**WUF Identifier Mask Bits 20…13** 0_B Unmasked - bit is ignored 1_B Masked - bit is compared in CAN frame

16.5.2.10 寄存器 SWK_MASK_ID1_CTRL

SWK_MASK_ID1_CTRL

Address: Address 010 1001_B

SWK WUF Identifier Mask bits 12…5 (Address 010 1001B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
MASK_ID12_5							
rw							

Field	Bits	Type	Description
MASK_ID12_5	7:0	rw	**WUF Identifier Mask Bits 12...5** 0_B Unmasked - bit is ignored 1_B Masked - bit is compared in CAN frame

16.5.2.11 寄存器 SWK_MASK_ID0_CTRL

SWK_MASK_ID0_CTRL

Address: Address 010 1010_B

SWK WUF Identifier bits 4…0 (Address 010 1010B)

POR/Soft Reset $Value_B$;: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0xxx\ xx00_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**MASK_ID4_0**					**Reserved**	
r	rw					r	

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
MASK_ID4_0	6:2	rw	**WUF Identifier MASK Bits 4…0** 0_B Unmasked - bit is ignored 1_B Masked - bit is compared in CAN frame
Reserved	1:0	r	**Reserved, always reads as 0**

16.5.2.12 寄存器 SWK_DLC_CTRL

SWK_DLC_CTRL

Address: Address 010 1011_B

SWK Frame Data Length Code Control (Address 010 1011B)

POR/Soft Reset $Value_B$: 0000 0000_B; Restart Value: 0000 $xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				**DLC**			
r				rw			

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:4	r	**Reserved, always reads as 0**
DLC	3:0	rw	**Payload length in number of bytes** 0000_B Frame Data Length = 0 or cleared 0001_B Frame Data Length = 1 0010_B Frame Data Length = 2 0011_B Frame Data Length = 3 0100_B Frame Data Length = 4 0101_B Frame Data Length = 5 0110_B Frame Data Length = 6 0111_B Frame Data Length = 7 from 1000_B to 1111_B Frame Data Length = 8

注释： *数据字段中的字节数必须通过DLC 来指示。DLC 由四位组成。数据帧允许的数据字节数范围为0到8。DLC 为0 到7 表示数据字段长度为0 到7 字节。DLC 为8 到15表示数据字段长度为8 字节。配置的DLC值必须与接收到的唤醒帧中的DLC逐位匹配（另请参阅唤醒帧 (WUF)）。*

16.5.2.13 寄存器 SWK_DATA7_CTRL

SWK_DATA7_CTRL

Address: Address 010 1100_B

SWK Data7 Register (Address 010 1100B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
DATA7							
rw							

Field	Bits	Type	Description
DATA7	7:0	rw	**Data7 byte content(bit0=LSB; bit7=MSB)**

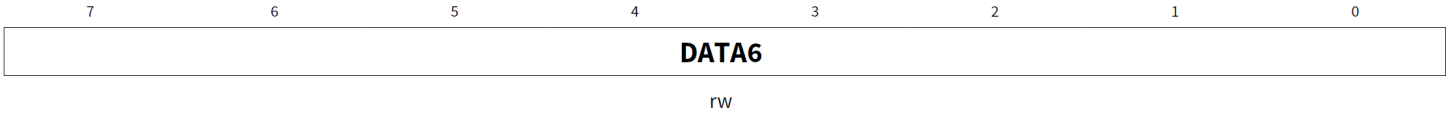
16.5.2.14 寄存器 SWK_DATA6_CTRL

SWK_DATA6_CTRL

Address: Address 010 1101_B

SWK Data6 Register (Address 010 1101B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$



Field	Bits	Type	Description
DATA6	7:0	rw	**Data6 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

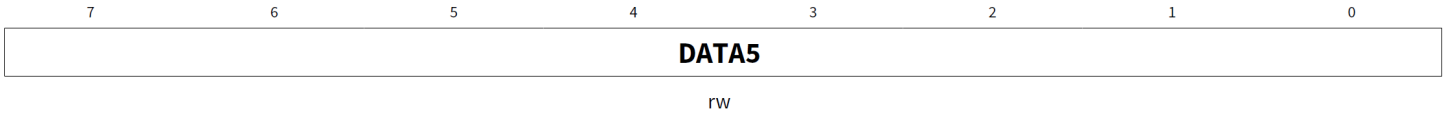
16.5.2.15 寄存器 SWK_DATA5_CTRL

SWK_DATA5_CTRL

Address: Address 010 1110_B

SWK Data5 Register (Address 010 1110B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$



Field	Bits	Type	Description
DATA5	7:0	rw	**Data5 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

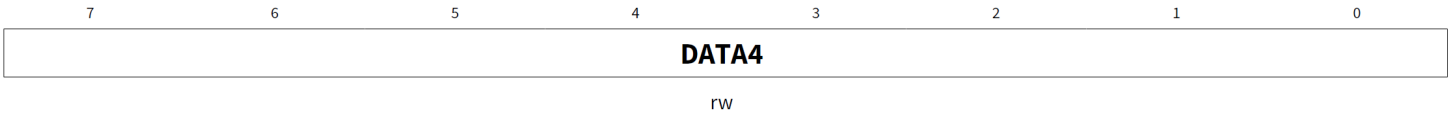
16.5.2.16 寄存器 SWK_DATA4_CTRL

SWK_DATA4_CTRL

Address: Address 010 1111_B

SWK Data4 Register (Address 010 1111B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$



Field	Bits	Type	Description
DATA4	7:0	rw	**Data4 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

16.5.2.17 寄存器 SWK_DATA3_CTRL

SWK_DATA3_CTRL

Address: Address 011 0000_B

SWK Data3 Register (Address 011 0000B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $XXXX\ XXXX_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
DATA3							
rw							

Field	Bits	Type	Description
DATA3	7:0	rw	**Data3 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

16.5.2.18 寄存器 SWK_DATA2_CTRL

SWK_DATA2_CTRL

Address: Address 011 0001_B

SWK Data2 Register (Address 011 0001B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
DATA2							
rw							

Field	Bits	Type	Description
DATA2	7:0	rw	**Data2 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

16.5.2.19 寄存器 SWK_DATA1_CTRL

SWK_DATA1_CTRL

Address: Address 011 0010$_B$

SWK Data1 Register (Address 011 0010B)

POR/Soft Reset Value$_B$: 0000 0000$_B$; Restart Value: XXXX XXXX$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
DATA1							
rw							

Field	Bits	Type	Description
DATA1	7:0	rw	**Data1 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

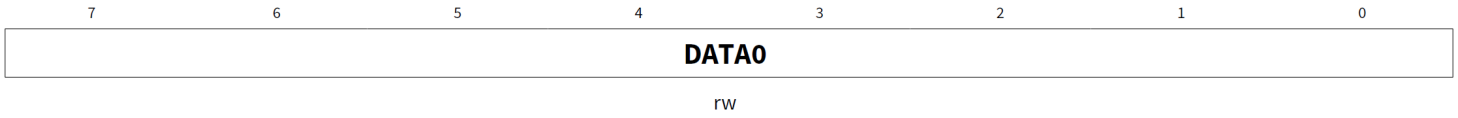
16.5.2.20 寄存器 SWK_DATA0_CTRL

SWK_DATA0_CTRL

Address: Address 011 0011_B

SWK Data0 Register (Address 011 0011B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$



Field	Bits	Type	Description
DATA0	7:0	rw	**Data0 byte content (bit0=LSB; bit7=MSB)**

16.5.2.21 寄存器 SWK_CAN_FD_CTRL

SWK_CAN_FD_CTRL

Address: Address 011 0100$_B$

CAN FD Configuration Control Register (Address 011 0100B)

POR/Soft Reset Value: 0000 0000$_B$; R: Restart Value: 00xx xxxx$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**DIS_ERR_CNT**	**RX_FILT_BYP**	**FD_FILTER**			**CAN_FD_EN**
r		rwh	rw	rw			rw

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
DIS_ERR_CNT	5	rwh	**Error Counter Disable Function** 0_B Error Counter is enabled during SWK 1_B Error counter is disabled during SWK only if CAN_FD_EN = '1'
RX_FILT_BYP	4	rw	**RX Receiver Filter Bypass** 0_B RX Filter not bypassed 1_B RX Filter bypassed
FD_FILTER	3:1	rw	**CAN FD Dominant Filter Time** 000_B 50 ns 001_B 100 ns 010_B 150 ns 011_B 200 ns 100_B 250 ns 101_B 300 ns 110_B 350 ns 111_B 775 ns
CAN_FD_EN	0	rw	**Enable CAN FD Tolerant Mode** 0_B CAN FD Tolerant Mode disabled 1_B CAN FD Tolerant Mode enabled

注释： *位 RX_FILT_BYP 旁路 CAN 接收器路径中的模拟器件；FD_FILTER 不在 CAN 总线的模拟路径中，也没有被旁路。*

注释： *DIS_ERR_CNT 在 tsilence 到期时，由SBC清除。*

16.5.3 选择性唤醒微调与校准控制寄存器

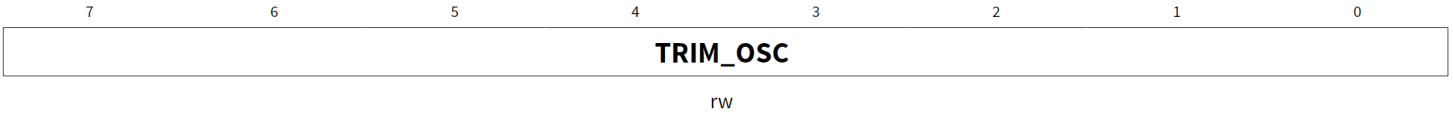
16.5.3.1 寄存器 SWK_OSC_TRIM_CTRL

SWK_OSC_TRIM_CTRL

Address: Address 011 1000_B

SWK Oscillator Trimming Register (Address 011 1000B)

POR/Soft Reset $Value_B$: xxxx $xxxx_B$; Restart Value: xxxx $xxxx_B$



Field	Bits	Type	Description
TRIM_OSC	7:0	rw	**Oscillator trimming (bit0=LSB; bit7=MSB); (only writable if TRIM_EN = '11')**

注释： *TRIM_OSC[0:4] 表示32 步精细微调范围，频率从低到高呈单调变化。步长约为0.25MHz。*
TRIM_OSC[5:7] 用于调整频率修正系数。强烈建议不要更改这些值。由于CDR 功能的存在，无需更改这些值。

16.5.3.2 寄存器 SWK_OPT_CTRL

SWK_OPT_CTRL

Address: Address 011 1001_B

Selective Wake Options Register (Address 011 1001B)

POR/Soft Reset $Value_B$: 000x $xxxx_B$; Restart Value: x00x $xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
RX_WK_SEL	**Reserved**		**TRIM_OSC**				
rw	r		rw				

Field	Bits	Type	Description
RX_WK_SEL	7	rw	**SWK Receiver selection (only accessible if TRIM_EN = '11')** 0_B Standard Receiver selected during SWK 1_B Low-Power Receiver selected during SWK
Reserved	6:5	r	**Reserved, always reads as 0**
TRIM_OSC	4:0	rw	**Oscillator trimming (bit8=LSB; bit12=MSB); (only writable if TRIM_EN = '11')**

注释：

1. *位 RX_WK_SEL 用于在选择性唤醒操作期间选择相应的接收器。为了降低帧检测模式下的静态电流，建议选择低功耗接收器，即RX_WK_SEL = '1'。重要提示：如果 RX_WK_SEL 位发生改变，则必须确保TRIM_OSC [8:12] 位的值保持不变，以避免振荡器频率发生变化。*
2. *TRIM_OSC[8:12] 表示 32 步粗调范围，该范围不是单调的。不建议更改这些值。*

16.5.3.3 寄存器 SWK_OSC_CAL_H_STAT

SWK_OSC_CAL_H_STAT

Address: Address 011 1010_B

SWK Oscillator Calibration High Register (Address 011 1010B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
OSC_CAL_H							
r							

Field	Bits	Type	Description
OSC_CAL_H	7:0	r	**Oscillator Calibration High Register**

16.5.3.4 寄存器 SWK_OSC_CAL_L_STAT

SWK_OSC_CAL_L_STAT

Address: Address 011 1011_B

SWK Oscillator Calibration Low Register (Address 011 1011B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
OSC_CAL_L							
r							

Field	Bits	Type	Description
OSC_CAL_L	7:0	r	**Oscillator Calibration Low Register**

16.5.3.5 寄存器 SWK_CDR_CTRL1

SWK_CDR_CTRL1

Address: Address 011 1100_B

CDR Control 1 Register (Address 011 1100B)

POR/Soft Reset Value: $0000\ 0100_B$; R: Restart Value: $0000\ xx0x_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				**SEL_FILT**		**Reserved**	**CDR_EN**
r				rw		r	rw

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:4	r	**Reserved, always reads as 0**
SEL_FILT	3:2	rw	**Select Time Constant of Filter** 00_B Time constant 8 01_B Time constant 16 (default) 10_B Time constant 32 11_B adapt distance between falling edges 2, 3 bit: Time constant 32 distance between falling edges 4, 5, 6, 7, 8 bit: Time constant 16 distance between falling edges 9, 10 bit: Time constant 8
Reserved	1	r	**Reserved, always reads as 0**
CDR_EN	0	rw	**Enable CDR** 0_B CDR disabled 1_B CDR enabled

16.5.3.6 寄存器 SWK_CDR_CTRL2

SWK_CDR_CTRL2

Address: Address 011 1101_B

CDR Control 2Register (Address 011 1101B)

POR/Soft Reset Value: $0000\ 0000_B$; R: Restart Value: $0000\ 00xx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						**SEL_OSC_CLK**	
r						rw	

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:2	r	**Reserved, always reads as 0**
SEL_OSC_CLK	1:0	rw	**Input Frequency for CDR module** See Table 37 and Table 38.

表 37 CDR 内部时钟频率设置

SEL_OSC_CLK[1:0]	int. Clock for CDR
00	80 MHz
01	40 MHz
10	20 MHz
11	10 MHz

表 38 不同波特率的推荐 CDR 设置

SEL_OSC_CLK [1:0]	Baudrate	Register SWK_BTL1_CTRL Value	Register SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL Value	Register SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL Value
00	500 k	1010 0000	1010 1000	1001 1000
01	500 k	0101 0000	0101 0100	0100 1100
10	500 k	CDR Setting not recommended for this baudrate due to insufficient precision		
11	500 k	CDR Setting not recommended for this baudrate due to insufficient precision		
00	250 k	CDR Setting not to be used due to excessive time quanta (counter overflow)		
01	250 k	1010 0000	1010 1000	1001 1000
10	250 k	0101 0000	0101 0100	0100 1100
11	250 k	CDR Setting not recommended for this baudrate due to insufficient precision		
00	125 k	CDR Setting not to be used due to excessive time quanta (counter overflow)		
01	125 k	CDR Setting not to be used due to excessive time quanta (counter overflow)		
10	125 k	1010 0000	1010 1000	1001 1000
11	125 k	0101 0000	0101 0100	0100 1100

16.5.3.7 寄存器 SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL

SWK_CDR_LIMIT_HIGH_CTRL

Address: Address 011 1110_B

SWK CDR Upper Limit Control (Address 011 1110B)

POR/Soft Reset Value1010 1000_B: 1010 1000_B; Restart Value: XXXX XXXX_B

7	6	5	4	3	2	1	0
CDR_LIM_H							
rw							

Field	Bits	Type	Description
CDR_LIM_H	7:0	rw	**Upper Bit Time Detection Range of Clock and Data Recovery** Register SWK_BTL1_CTRL values > + 5% will be clamped

16.5.3.8 寄存器 SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL

SWK_CDR_LIMIT_LOW_CTRL

Address: Address 011 1111_B

SWK CDR Lower Limit Control (Address 011 1111B)

POR/Soft Reset Value1001 1000_B: 1001 1000_B; Restart Value: XXXX XXXX_B

7	6	5	4	3	2	1	0
CDR_LIM_L							
rw							

Field	Bits	Type	Description
CDR_LIM_L	7:0	rw	**Lower Bit Time Detection Range of Clock and Data Recovery** Register SWK_BTL1_CTRL values < - 5% will be clamped

16.6 SPI状态信息寄存器

READ/CLEAR操作（另见SPI编程）：

- 一个 16 位*SPI*命令由两个字节组成：
  - 7 位地址和用于寄存器访问模式的附加位
  - 数据字节之后

    以下位定义的编号指的是数据字节，对应于位 D0...D7 和SPI位 8...15（另见图）。
- 位类型有两种：
  - 'r' = READ：只读位（或保留位）
  - rc"=READ/CLEAR：可读和可清零位
- 读取寄存器是通过设置SPI 位 7 设置为“0”（= 只读）逐字节进行的
- 通过将 SPI 位 7 设置为“1”，可以按字节清除寄存器。
- SPI状态寄存器通常不会自动清除或更改（WD_FAIL 除外）。必须由微控制器通过SPI 命令完成。

寄存器访问

寄存器按字寻址

16.6.1 通用状态寄存器

16.6.1.1 寄存器 SUP_STAT_2

SUP_STAT_2

Address: Address 100 0000_B

Supply Voltage Fail Status (Address 100 0000B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0x0x\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**VS_UV**	**Reserved**	**VCC3_OC**	**VCC3_UV**	**VCC3_OT**	**VCC1_OV**	**VCC1_WARN**
r	rc	r	rc	rc	rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
VS_UV	6	rc	**VS Undervoltage Detection (VS,UV)** 0_B No VS undervoltage detected 1_B VS undervoltage detected
Reserved	5	r	**Reserved, always reads as 0**
VCC3_OC	4	rc	**VCC3 Overcurrent Detection** 0_B No OC 1_B OC detected
VCC3_UV	3	rc	**VCC3 Undervoltage Detection** 0_B No VCC3 UV detection 1_B VCC3 UV Fail detected
VCC3_OT	2	rc	**VCC3 Overtemperature Detection** 0_B No overtemperature 1_B VCC3 overtemperature detected
VCC1_OV	1	rc	**VCC1 Overvoltage Detection (VCC1,OV,r)** 0_B No VCC1 overvoltage warning 1_B VCC1 overvoltage detected
VCC1_WARN	0	rc	**VCC1 Undervoltage Prewarning (VPW,f)** 0_B No VCC1 undervoltage prewarning 1_B VCC1 undervoltage prewarning detected

注释：

1. *VCC1 欠压预警阈值VPW,f / VPW,r 是一个固定阈值，与VCC1 欠压复位阈值无关。*

16.6.1.2 寄存器 SUP_STAT_1

SUP_STAT_1

Address: Address 100 0001$_B$

Supply Voltage Fail Status (Address 100 0001B) POR/Soft Reset Value: y000 0000B;

$_B$: y000 0000$_B$; Restart Value: xxxx xx0x$_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
POR	**VSHS_UV**	**VSHS_OV**	**VCC2_OT**	**VCC2_UV**	**VCC1_SC**	**VCC1_UV_FS**	**VCC1_UV**
rc	rc	rc	rc	rc	rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
POR	7	rc	**Power-On Reset Detection** 0$_B$ No POR 1$_B$ POR occurred
VSHS_UV	6	rc	**VSHS Undervoltage Detection** (VSHS,UVD) 0$_B$ No VSHS-UV 1$_B$ VSHS-UV detected
VSHS_OV	5	rc	**VSHS Overvoltage Detection** (VSHS,OVD) 0$_B$ No VSHS-OV 1$_B$ VSHS-OV detected
VCC2_OT	4	rc	**VCC2 Overtemperature Detection** 0$_B$ No overtemperature 1$_B$ VCC2 overtemperature detected
VCC2_UV	3	rc	**VCC2 Undervoltage Detection** (VCC2,UV,f) 0$_B$ No VCC2 undervoltage 1$_B$ VCC2 undervoltage detected
VCC1_SC	2	rc	**VCC1 Short to GND Detection (<Vrtx for t>4ms after switch on)** 0$_B$ No short 1$_B$ VCC1 short to GND detected
VCC1_UV_FS	1	rc	**VCC1 UV-Detection (due to Vrtx reset)** 0$_B$ No Fail-Safe Mode entry due to 4th consecutive VCC1_UV 1$_B$ Fail-Safe Mode entry due to 4th consecutive VCC1_UV
VCC1_UV	0	rc	**VCC1 UV-Detection (due to Vrtx reset)** 0$_B$ No VCC1_UV detection 1$_B$ VCC1 UV-Fail detected

注释：

1. *POR /软复位值的MSB 标记为“y”：上电复位后POR位的默认值为置位（POR 值= 1000 0000）。然而，它会在SBC 软复位命令（软复位值= 0000 0000）后被清除。*
2. *在休眠模式期间，当VCC1 关闭时，VCC1_SC、VCC1_OV 和VCC1_UV 位不会置位。*
3. *在SBC 重启模式下，VCC1_UV 位永远不会更新；在SBC 初始化模式下，它仅在首次释放RO 后更新；在SBC 正常模式和停止模式下，它总是更新；在任何SBC 模式下，当VCC1_SC 条件为VCC1_UV = 1 持续> 4 毫秒时，它总是更新。*

16.6.1.3 寄存器 THERM_STAT

THERM_STAT

Address: Address 100 0010_B

Thermal Protection Status (Address 100 0010B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0xxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					**TSD2**	**TSD1**	**TPW**
r					rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:3	r	**Reserved, always reads as 0**
TSD2	2	rc	**TSD2 Thermal Shut-Down Detection** 0_B No TSD2 event 1_B TSD2 OT detected - leading to SBC Fail-Safe Mode
TSD1	1	rc	**TSD1 Thermal Shut-Down Detection** 0_B No TSD1 fail 1_B TSD1 OT detected
TPW	0	rc	**Thermal Pre Warning** 0_B No Thermal Pre warning 1_B Thermal Pre warning detected

注释： *即使温度预警或TSD1 OT 条件不再存在，TSD1 和TSD2 也不会自动复位。 TSD2 也未复位。*

16.6.1.4 寄存器 DEV_STAT

DEV_STAT

Address: Address 100 0011_B

Device Information Status (Address 100 0011B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xx00\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
DEV_STAT		**Reserved**		**WD_FAIL**		**SPI_FAIL**	**FAILURE**
rc		r		rh		rc	rc

Field	Bits	Type	Description
DEV_STAT	7:6	rc	**Device Status before Restart Mode** 00_B Cleared (Register must be actively cleared) 01_B Restart due to failure (WD fail, TSD2, VCC1_UV); also after a wake from Fail-Safe Mode 10_B Sleep Mode 11_B Reserved
Reserved	5:4	r	**Reserved, always reads as 0**
WD_FAIL	3:2	rh	**Number of WD-Failure Events (1/2 WD failures depending on CFG)** 00_B No WD Fail 01_B 1x WD Fail, FOx activation - Config 2 selected 10_B 2x WD Fail, FOx activation - Config 1/3/4 selected 11_B Reserved (never reached)
SPI_FAIL	1	rc	**SPI Fail Information** 0_B No SPI fail 1_B Invalid SPI command detected
FAILURE	0	rc	**Activation of Fail Output FO** 0_B No Failure 1_B Failure occurred

注释：

1. *DEV_STAT 位显示设备重启前的状态。设备状态分为：正常休眠模式（'10'），或发生故障（'01' - SBC 重启或 SBC 故障安全模式：看门狗故障、TSD2 故障、VCC 欠压故障，若 VCC1_OV_RST 位置位，还包括 VCC1 过压故障）。故障情况还包括从 SBC 停止模式发出非法命令到 SBC 休眠模式，或未激活任何唤醒源就进入 SBC 休眠模式。如果在未清除所有唤醒标志的情况下尝试进入 SBC 休眠模式，也会显示来自 SBC 休眠模式（'10'）。*
2. *WD_FAIL 位被配置为计数器，并且是仅有的由 SBC 自动清零的状态位。在看门狗成功触发后以及看门狗停止时（在 SBC 休眠和故障安全模式下同样如此，除非是因看门狗故障进入这些模式），这些位会被清零。另见模块和功能描述。*
3. *SPI_FAIL 位只能通过 SPI 命令清除。*
4. *对于配置 2/4，如果 WD 触发失败，WD_Fail 计数器将被冻结，直到 WD 触发成功为止。*
5. *如果 CFG = '0'，则第一次看门狗故障不会触发 FO 输出或 FAILURE 位，而只会强制 SBC 进入 SBC 重启模式。*

16.6.1.5 寄存器 BUS_STAT_1

BUS_STAT_1 (SWK)

Address: Address 100 0100_B

Bus Communication Status (Address 100 0100B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000_B; Restart Value: 000xxx $xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**LIN1_FAIL**		**CANTO**	**SYSERR**	**CAN_FAIL**		**VCAN_UV**
r	rc		rc	rc	rc		rc

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
LIN1_FAIL	6:5	rc	**LIN1 Failure Status** 00_B No error 01_B LIN1 TSD 10_B LIN1_TXD_DOM: TXD dominant time out for more than 20ms 11_B LIN1_BUS_DOM: BUS dominant time out for more than 20ms
CANTO	4	rc	**CAN Time Out Detection** 0_B Normal operation 1_B CAN Time Out detected
SYSERR	3	rc	**SWK System Error** 0_B Selective Wake Mode is possible 1_B System Error detected, SWK enabling not possible
CAN_FAIL	2:1	rc	**CAN Failure Status** 00_B No error 01_B CAN TSD shutdown 10_B CAN_TXD_DOM: TXD dominant time out for longer than tTxD_CAN_TO 11_B CAN_BUS_DOM: BUS dominant time out for longer than tTxD_CAN_TO
VCAN_UV	0	rc	**Undervoltage CAN Bus Supply** 0_B Normal operation 1_B CAN Supply undervoltage detected. Transmitter disabled

注释：

1. *CAN 和 LIN*

恢复条件：

1.) TXD 超时：TXD 变为高电平或发射器置位以唤醒能力或关闭。

2.) 总线显性超时：总线将变为隐性或收发器设置为唤醒能力或关闭。

3.) 供电欠压：一旦再次超过阈值，即

对于 LIN，VSHS > VS_UV；

对于 CAN，VCAN > VCAN_UV。

4.) 在所有情况下（也适用于 TSD 关断）：为了再次使能总线传输，TXD 需要在一定时间内处于高电平（发射器使能时间）。

2. *如果模式位 CAN_1 = '1'，即处于 CAN 正常或 CAN 仅接收模式，则 VCAN_UV 比较器启用。*

3. *仅当 CAN2 = 1（=SWK 模式启用）时，CANTO 才会被置位。一旦 CANSIL 置位，CANTO 就会置位，并且即使在 CANSL 复位时也将保持置位。在 SBC 停止模式和 SBC 正常模式下，一旦 CANTO 被放置且中断未被屏蔽，就会发出中断信号。CANTO_MASK 必须设置为 1。*

4. *SYSERR 标志是配置错误时的置位以及错误时的计数器溢出 (n > 32)。仅当 SWK 启用（CAN_2 = '1'）时才会更新。另请参见诊断标志。*

5. *CANTO 置位与 INT 脉冲异步。为了防止意外清除 CANTO 数据，从而可能错过此中断，该位将被阻止清除（即无法清除）直到 INT 的下一个下降沿。*

16.6.1.6 寄存器 BUS_STAT_2

BUS_STAT_2

Address: Address 100 0101_B

Bus Communication Status (Address 100 0101B)

POR/Soft Reset Value$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ 0xx0_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					**LIN2_FAIL**		**Reserved**
r					rc		r

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:3	r	**Reserved, always reads as 0**
LIN2_FAIL	2:1	rc	**LIN2 Failure Status** 00_B No error 01_B LIN2 TSD shutdown 10_B LIN2_TXD_DOM: TXD dominant time out for more than 20 ms 11_B LIN2_BUS_DOM: BUS dominant time out for more than 20 ms
Reserved	0	r	**Reserved, always reads as 0**

注释： *CAN和LINx 恢复条件：*

1.) TXD 超时：TXD 变高或发射器置位以唤醒能力或关闭。

2.).唤醒显性超时：唤醒将变为隐性或收发器设置为唤醒能力或关闭。

3.) 供电欠压：一旦再次超过阈值，即VSHS > VS_UV（适用于LINx）且VCAN > VCAN_UV（适用于CAN）。

4.) 在所有情况下（也适用于TSD 关断）：为了再次使能函数，TXD 需要在一定时间内处于高电平（发射器使能时间）。

16.6.1.7 寄存器 WK_STAT_1

WK_STAT_1

Address: Address 100 0110_B

Wake-up Source and Information Status (Address 100 0110B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: 0000 0000_B; Restart Value: x0x0xx $0xxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
LIN2_WU	**LIN1_WU**	**CAN_WU**	**TIMER_WU**	**Reserved**	**WK3_WU**	**WK2_WU**	**WK1_WU**
rc	rc	rc	rc	r	rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
LIN2_WU	7	rc	**Wake up via LIN2 Bus** 0_B No Wake up 1_B Wake up
LIN1_WU	6	rc	**Wake up via LIN1 Bus** 0_B No Wake up 1_B Wake up
CAN_WU	5	rc	**Wake up via CAN Bus** 0_B No Wake up 1_B Wake up
TIMER_WU	4	rc	**Wake up via TimerX** 0_B No Wake up 1_B Wake up
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
WK3_WU	2	rc	**Wake up via WK3** 0_B No Wake up 1_B Wake up
WK2_WU	1	rc	**Wake up via WK2** 0_B No Wake up 1_B Wake up
WK1_WU	0	rc	**Wake up via WK1** 0_B No Wake up 1_B Wake up

注释： *当器件从SBC故障安全模式唤醒时，相应的唤醒源位也将被置位。*

16.6.1.8 寄存器 WK_STAT_2

WK_STAT_2

Address: Address 100 0111_B

Wake-up Source and Information Status (Address 100 0111B) POR/Soft Reset Value: 0000 0000B;

$_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00xx\ 0000_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**GPIO2_WU**	**GPIO1_WU**	**Reserved**			
r		rc	rc	r			

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
GPIO2_WU	5	rc	**Wake up via GPIO2** 0_B No Wake up 1_B Wake up
GPIO1_WU	4	rc	**Wake up via GPIO1** 0_B No Wake up 1_B Wake up
Reserved	3:0	r	**Reserved, always reads as 0**

16.6.1.9 寄存器 WK_LVL_STAT

WK_LVL_STAT

Address: Address 100 1000_B

WK Input Level (Address 100 1000B) POR/Soft Reset Value: xx00 0xxxB;

x00 $0xxx_B$: xx00 $0xxx_B$; Restart Value: xxxx $0xxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
SBC_DEV_LVL	**CFGP**	**GPIO2_LVL**	**GPIO1_LVL**	**Reserved**	**WK3_LVL**	**WK2_LVL**	**WK1_LVL**
r	r	r	r	r	r	r	r

Field	Bits	Type	Description
SBC_DEV_LVL	7	r	**Status of SBC Operating Mode at FO3/TEST Pin** 0_B User Mode activated 1_B SBC Development Mode activated
CFGP	6	r	**Device Configuration Status** 0_B No external pull-up resistor connected on INT (Config 2/4) 1_B External pull-up resistor connected on INT (Config 1/3)
GPIO2_LVL	5	r	**Status of GPIO2 (if selected as GPIO)** 0_B Low Level (=0) 1_B High Level (=1)
GPIO1_LVL	4	r	**Status of GPIO1 (if selected as GPIO)** 0_B Low Level (=0) 1_B High Level (=1)
Reserved	3	r	**Reserved, always reads as 0**
WK3_LVL	2	r	**Status of WK3** 0_B Low Level (=0) 1_B High Level (=1)
WK2_LVL	1	r	**Status of WK2** 0_B Low Level (=0) 1_B High Level (=1)
WK1_LVL	0	r	**Status of WK1** 0_B Low Level (=0) 1_B High Level (=1)

注释： *如果配置为唤醒输入、低边开关或高边开关，GPIOx_LVL 将在SBC正常和停止模式下更新。在循环检测或唤醒模式下，寄存器包含采样的电平，即寄存器在每次采样后都会更新。GPIO 无法进行循环检测。如果选择GPIO，则即使配置为低边或高边，也会显示相应的电平。*

16.6.1.10 寄存器 HS_OC_OT_STAT

HS_OC_OT_STAT

Address: Address 101 0100_B

High-Side Switch Overload Status (Address 101 0100B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				**HS4_OC_OT**	**HS3_OC_OT**	**HS2_OC_OT**	**HS1_OC_OT**
r				rc	rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:4	r	**Reserved, always reads as 0**
HS4_OC_OT	3	rc	**Overcurrent and Overtemperature Detection HS4** 0_B No OC or OT 1_B OC or OT detected
HS3_OC_OT	2	rc	**Overcurrent and Overtemperature Detection HS3** 0_B No OC or OT 1_B OC or OT detected
HS2_OC_OT	1	rc	**Overcurrent and Overtemperature Detection HS2** 0_B No OC or OT 1_B OC or OT detected
HS1_OC_OT	0	rc	**Overcurrent and Overtemperature Detection HS1** 0_B No OC or OT 1_B OC or OT detected

注释： *当VPOR,f < VS < 5.5 V 时，OC/OT位可能会被置位（另见功能范围）。*

16.6.1.11 寄存器 HS_OL_STAT

HS_OL_STAT

Address: Address 101 0101_B

High-Side Switch Open-Load Status (Address 101 0101B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0000\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				**HS4_OL**	**HS3_OL**	**HS2_OL**	**HS1_OL**
r				rc	rc	rc	rc

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:4	r	**Reserved, always reads as 0**
HS4_OL	3	rc	**Open-Load Detection HS4** 0_B No OL 1_B OL detected
HS3_OL	2	rc	**Open-Load Detection HS3** 0_B No OL 1_B OL detected
HS2_OL	1	rc	**Open-Load Detection HS2** 0_B No OL 1_B OL detected
HS1_OL	0	rc	**Open-Load Detection HS1** 0_B No OL 1_B OL detected

16.6.2 选择性唤醒状态寄存器

16.6.2.1 寄存器 SWK_STAT

SWK_STAT

Address: Address 111 0000_B

Selective Wake Status (Address 111 0000B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $0x00\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	**SYNC**	**Reserved**		**CANSIL**	**SWK_SET**	**WUP**	**WUF**
r	r	r		r	r	r	r

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7	r	**Reserved, always reads as 0**
SYNC	6	r	**Synchronisation (at least one CAN frame without fail must have been received)** 0_B SWK function not working or not synchronous to CAN bus 1_B Valid CAN frame received, SWK function is synchronous to CAN bus
Reserved	5:4	r	**Reserved, always reads as 0**
CANSIL	3	r	**CAN Silent Time during SWK operation** 0_B tsilence not exceeded 1_B set if tsilence is exceeded.
SWK_SET	2	r	**Selective Wake Activity** 0_B Selective Wake is not active 1_B Selective Wake is activated
WUP	1	r	**Wake-up Pattern Detection** 0_B No WUP 1_B WUP detected
WUF	0	r	**SWK Wake-up Frame Detection (acc. ISO 11898-2:2016)** 0_B No WUF 1_B WUF detected

注释： *SWK_SET 是选择性唤醒功能已激活的标志（SYSERR = 0、CFG_VAL = 1、CAN_2 = 1）。选择性唤醒功能通过CAN 模式更改来激活，但CAN = '100' 除外。*

16.6.2.2 寄存器 SWK_ECNT_STAT

SWK_ECNT_STAT

Address: Address 111 0001_B

SWK Status (Address 111 0001B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $00xx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		**ECNT**					
r		r					

Field	Bits	Type	Description
Reserved	7:6	r	**Reserved, always reads as 0**
ECNT	5:0	r	**SWK CAN Frame Error Counter** $00\ 0000_B$ No Frame Error $01\ 1111_B$ 31 Frame Errors have been counted $10\ 0000_B$ Error counter overflow - SWK function will be disabled

注释： *如果接收到符合ISO 11898-1标准的有效帧且计数器不为零，则计数器应递减。如果计数器达到32，则执行以下操作：禁用选择性唤醒功能，置位SYSERR，并启用CAN唤醒功能，从而在下一个WUP中唤醒设备。*

16.6.2.3 寄存器 SWK_CDR_STAT1

SWK_CDR_STAT1

Address: Address 111 0010_B

CDR Status 1 Register (Address 111 0010B)

POR/Soft Reset Value: $1010\ 0000_B$; R: Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
NAVG_SAT							
r							

Field	Bits	Type	Description
NAVG_SAT	7:0	r	**Output Value from Filter Block** N_AVG is representing the integer part of the number of selected input clock frequency per CAN bus bit. N_AVG[11:4], for example, 160.75

16.6.2.4 寄存器 SWK_CDR_STAT2

SWK_CDR_STAT2

Address: Address 111 0011_B

CDR Status 2 Register (Address 111 0011B)

POR/Soft Reset Value: $0000\ 0000_B$; R: $0000\ 0000_B$; Restart Value: $xxxx\ xxxx_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
NAVG_SAT				**Reserved**			
r				r			

Field	Bits	Type	Description
NAVG_SAT	7:4	r	**Output Value from Filter Block** N_AVG is representing the fractional part of the number of selected input clock frequency per CAN bus bit. N_AVG[3:0], for example, 160.75
Reserved	3:0	r	**Reserved, always reads as 0**

16.6.3 系列和产品信息寄存器

16.6.3.1 寄存器 FAM_PROD_STAT

FAM_PROD_STAT

Address: Address 111 1110_B

Family and Product Identification Register (Address 111 1110B)

POR/Soft Reset $Value_B$: $0111\ yyyy_B$; Restart Value: $0111\ yyyy_B$

7	6	5	4	3	2	1	0
FAM				PROD			
r				r			

Field	Bits	Type	Description
FAM	7:4	r	**SBC Family Identifier (bit4=LSB; bit7=MSB)** 0010_B DC/DC-SBC Family 0011_B Mid-Range SBC Family 0100_B Multi-CAN SBC Family 0101_B Lite-CAN SBC Family 0111_B Mid-Range+ SBC Family
PROD	3:0	r	**SBC Product Identifier (bit0=LSB; bit3=MSB)** 0000_B reserved 0001_B reserved 0010_B reserved 0011_B reserved 1110_B CLE9263-3BQX (VCC1 = 5 V, 2 LIN, VCC3, SWK) (default device when untrimmed)

注释:

1. *POR、PROD软复位或重启之后的实际默认寄存器值将取决于相应的产品。因此指定值为"y"。*
2. *SWK = CAN PN 标准中的选择性唤醒功能。*

16.7 电气特性

表 39 电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C，所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
***SPI* frequency**							
Maximum SPI frequency	$f_{SPI,max}$	–	–	4.0	MHz	1)	P_16.7.1
SPI Interface; Logic Inputs SDI, CLK and CSN							
H-input Voltage Threshold	V_{IH}	–	–	0.7 × V_{CC1}	V	–	P_16.7.2
L-input Voltage Threshold	V_{IL}	0.3 × V_{CC1}	–	–	V	–	P_16.7.3
Hysteresis of input Voltage	V_{IHY}	0.08 × V_{CC1}	0.12 × V_{CC1}	0.5 × V_{CC1}	V	1)	P_16.7.4
Pull-up Resistance at pin CSN	R_{ICSN}	20	40	80	kΩ	V_{CSN} = 0.7 × V_{CC1}	P_16.7.5
Pull-down Resistance at pin SDI and CLK	$R_{ICLK/SDI}$	20	40	80	kΩ	$V_{SDI/CLK}$ = 0.2 × V_{CC1}	P_16.7.6
Input Capacitance at pin CSN, SDI or CLK	C_I	–	10	–	pF	1)	P_16.7.7
Logic Output SDO							
H-output Voltage Level	V_{SDOH}	V_{CC1} -0.4	V_{CC1} -0.2	–	V	I_{DOH} = -1.6 mA	P_16.7.8
L-output Voltage Level	V_{SDOL}	–	0.2	0.4	V	I_{DOL} = 1.6 mA	P_16.7.9
Tristate Leakage Current	I_{SDOLK}	-10	–	10	µA	V_{CSN} = V_{CC1}; 0 V < V_{DO} < V_{CC1}	P_16.7.10
Tristate Input Capacitance	C_{SDO}	–	10	15	pF	1)	P_16.7.11
Data Input Timing 1)							
Clock Period	t_{pCLK}	250	–	–	ns	–	P_16.7.12
Clock High Time	t_{CLKH}	125	–	–	ns	–	P_16.7.13
Clock Low Time	t_{CLKL}	125	–	–	ns	–	P_16.7.14
Clock Low before CSN Low	t_{bef}	125	–	–	ns	–	P_16.7.15
CSN Setup Time	t_{lead}	250	–	–	ns	–	P_16.7.16
CLK Setup Time	t_{lag}	250	–	–	ns	–	P_16.7.17
Clock Low after CSN High	t_{beh}	125	–	–	ns	–	P_16.7.18
SDI Set-up Time	t_{DISU}	100	–	–	ns	–	P_16.7.19
SDI Hold Time	t_{DIHO}	50	–	–	ns	–	P_16.7.20

（表格续下页……）

表 39　　（续）电气特性

V_S = 5.5 V 至 28 V, T_j = -40°C 至 +150°C，所有电压相对于地，正向电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Input Signal Rise Time at pin SDI, CLK and CSN	t_{rIN}	–	–	50	ns	–	P_16.7.21
Input Signal Fall Time at pin SDI, CLK and CSN	t_{fIN}	–	–	50	ns	–	P_16.7.22
Delay Time for Mode Changes[2]	$t_{Del,Mode}$	–	–	6	µs	Includes internal oscillator tolerance	P_16.7.23
CSN High Time	$t_{CSN(high)}$	3	–	–	µs	–	P_16.7.24
Data Output Timing [1]							
SDO Rise Time	t_{rSDO}	–	30	80	ns	C_L = 100 pF	P_16.7.25
SDO Fall Time	t_{fSDO}	–	30	80	ns	C_L = 100 pF	P_16.7.26
SDO Enable Time	t_{ENSDO}	–	–	50	ns	Low impedance	P_16.7.27
SDO Disable Time	t_{DISSDO}	–	–	50	ns	High impedance	P_16.7.28
SDO Valid Time	t_{VASDO}	–	–	50	ns	C_L = 100 pF	P_16.7.29

1)　未经过生产测试，由设计指定。
2)　适用于所有通过SPI命令触发的模式更改。

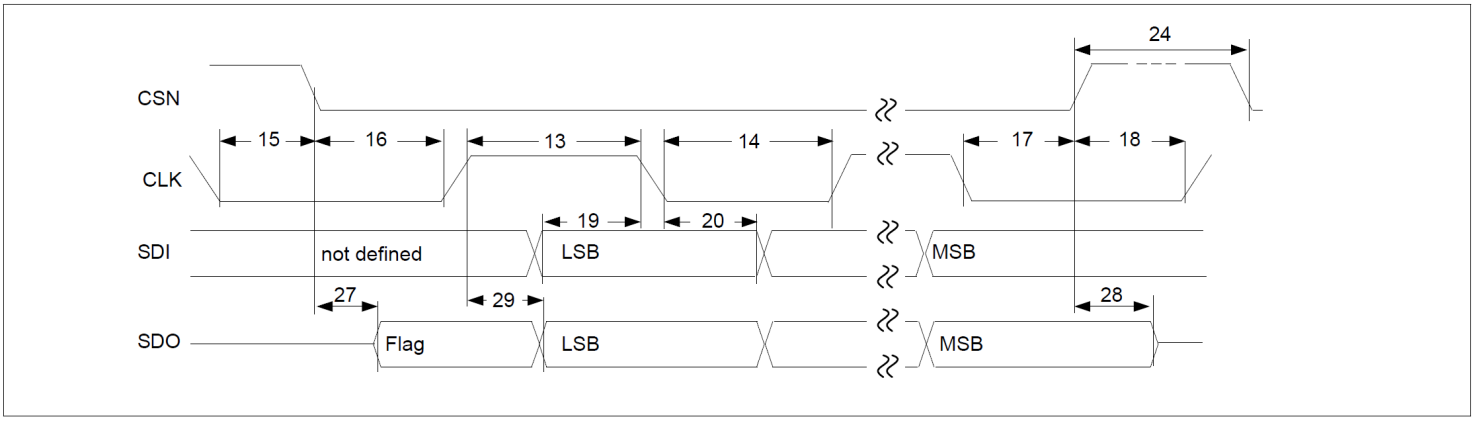


图 63　　SPI 时序图

注释：　*绘图中的数字与电气特性表中数字字段的最后2 位数字相关。*

17 应用信息

17.1 应用图

注释： *以下信息仅作为执行器件的提示，不应被视为对器件某种功能、条件或质量的描述或担保。*

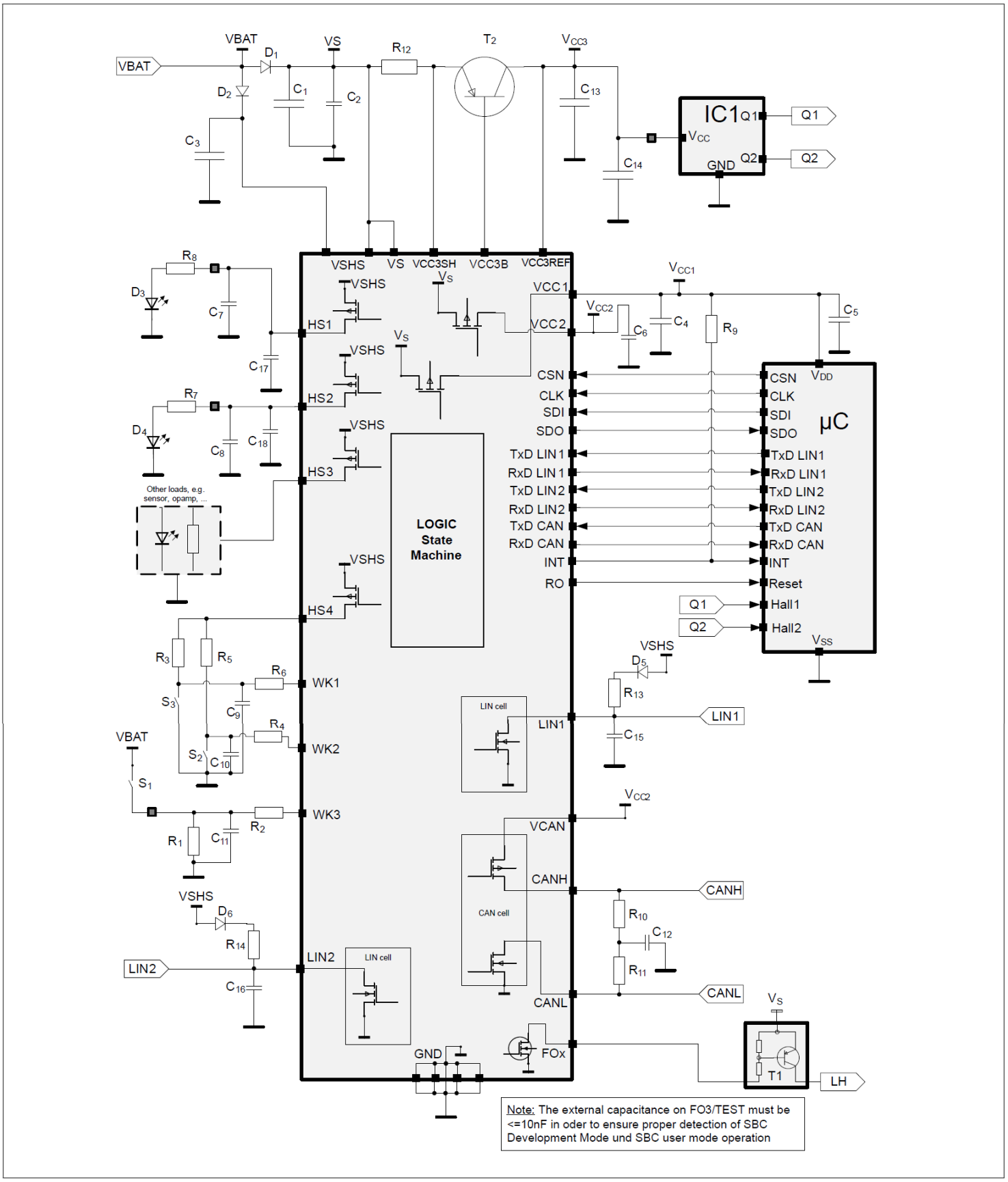

VBAT
VS
R12
T2
VCC3
D1
D2
C1
C2
C3
C13
C14
IC1
Q1
Q2
VCC
GND
R8
D3
C7
C17
R7
D4
C8
C18
HS1
HS2
HS3
HS4
VSHS
VS
VCC3SH
VCC3B
VCC3REF
VCC1
VCC2
C6
C4
R9
C5
CSN
CLK
SDI
SDO
TxD LIN1
RxD LIN1
TxD LIN2
RxD LIN2
TxD CAN
RxD CAN
INT
RO
LOGIC
State
Machine
Other loads, e.g.
sensor, opamp, ...
VDD
µC
Reset
Hall1
Hall2
VSS
R3
R5
R6
WK1
S3
C9
R4
WK2
S2
C10
S1
WK3
R1
C11
R2
D5
R13
LIN1
C15
LIN cell
VCAN
CANH
CAN cell
R10
C12
R11
CANL
D6
R14
LIN2
C16
FOx
T1
LH
GND
Note: The external capacitance on FO3/TEST must be
<=10nF in oder to ensure proper detection of SBC
Development Mode und SBC user mode operation

图 64　　简化应用图

注释： *建议将未使用的输出在应用板上保持未连接状态。如果未使用的输出引脚被路由到离开ECU的外部连接器，则这些引脚应提供零欧姆跳线（如果未使用则减少）或ESD防护。*

表 40 简化应用图的物料清单

Ref.	Typical Value	Purpose/Comment
capacitances		
C1	68 µF	Buffering capacitor to cut off battery spikes, depending on application
C2	100 nF	*EMC*, blocking capacitor
C3	22 µF	Buffering capacitor to cut off battery spikes from VSHS as separate supply input; Depending on application, only needed if VSHS is not connected to VS;
C4	2.2 µF low *ESR*	As required by application, min. 470 nF for stability and max. 68 µF recommended
C5	100 nF ceramic	Spike filtering, improve stability of supply for microcontroller; not needed for *SBC*
C6	2.2 µF low ESR	Blocking capacitor, min. 470 nF for stability; if used for *CAN* supply place a 100 nF ceramic capacitor in addition very close to VCAN pin for optimum EMC behavior
C7	33 nF	As required by application, mandatory protection for off-board connections
C8	33 nF	As required by application, mandatory protection for off-board connections
C17	47 pF	Only required in case of off-board connection to optimize EMC behavior, place close to pin
C18	47 pF	Only required in case of off-board connection to optimize EMC behavior, place close to pin
C9	10 nF	Spike filtering, as required by application, mandatory protection for off-board connections (see also Simplified Application Diagram with the Alternate Measurement Function)
C10	10 nF	Spike filtering, as required by application, mandatory protection for off-board connections
C11	10 nF	Spike filtering, as required by application, mandatory protection for off-board connections
C12	4.7 nF/*original equipment manufacturer (OEM)* dependent	Split termination stability
C13	10 µF low ESR	Stability of VCC3, ceramic capacitor, for example, Murata 10 µF/10 V GCM31CR71A106K64L or 2 x 4.7 µF/10 V
C14	47 nF	Only required in case of off-board connection to optimize EMC behavior, place close to connector
C15	1 nF/OEM dependent	*LIN* master termination
C16	1 nF/OEM dependent	LIN master termination
Resistances		

（表格续下页……）

表 40 （续）简化应用图的物料清单

Ref.	Typical Value	Purpose/Comment
R1	10 kΩ	Wetting current of the switch, as required by application
R2	10 kΩ	Limit the WK pin current, for example, for ISO pulses
R3	10 kΩ	Wetting current of the switch, as required by application
R4	10 kΩ	Limit the WK pin current, for example, for ISO pulses
R5	10 kΩ	Wetting current of the switch, as required by application
R6	10 kΩ	Limit the WK pin current, for example, for ISO pulses
R7	Depending on *LED* config.	LED current limitation, as required by application
R8	Depending on LED config.	LED current limitation, as required by application
R9	47 kΩ	Selection of hardware configuration 1/3, i.e. in case of *WD* failure SBC Restart Mode is entered. If not connected, then hardware configuration 2/4 is selected
R10	60 Ω/OEM dependent	CAN bus termination
R11	60 Ω/OEM dependent	CAN bus termination
R12	1 Ω shunt, depending on required current limitation or load sharing ratio	Sense shunt for ICC3 current limitation (configured to typ. 235mA with 1Ω shunt) for stand-alone configuration; Setting of load sharing ratio (here ICC3/ ICC1 = 1) in load sharing configuration.
R13	1 kΩ/OEM dependent	LIN master termination (if configured as a LIN master)
R14	1 kΩ/OEM dependent	LIN master termination (if configured as a LIN master)
R15	10 kΩ	WK1 pin current limitation, for example, for ISO pulses, for alternate measurement function (see also Simplified Application Diagram with the Alternate Measurement Function)
R16	Depending on application and microcontroller	Voltage Divider resistor to adjust measurement voltage to microcontroller *analog-to-digital converter (ADC)* input range (see also Simplified Application Diagram with the Alternate Measurement Function)
R17	Depending on application and microcontroller	Voltage Divider resistor to adjust measurement voltage to microcontroller ADC input range (see also Simplified Application Diagram with the Alternate Measurement Function)
Active Components		
D1	For example, BAS 3010A, Infineon	Reverse polarity protection for VS supply pins
D2	For example, BAS 3010A, Infineon	Reverse polarity protection for VSHS supply pin; if separate supplies are not needed, then connect VSHS to VS pins
D3	LED	As required by application, configure series resistor accordingly
D4	LED	As required by application, configure series resistor accordingly
D5	For example, BAS70	Requested by LIN standard; reverse polarity protection of network
D6	For example, BAS70	Requested by LIN standard; reverse polarity protection of network
T1	For example, BCR191W	High active FO control

（表格续下页……）

表 40　　（续）简化应用图的物料清单

Ref.	Typical Value	Purpose/Comment
T2	BCP 52-16, Infineon	Power element of VCC3, current limit or load sharing ratio to be configured via shunt
	MJD 253, ON Semi	Alternative power element of VCC3
µC	For example, TC2xxx	Microcontroller

注释：　　这是一个非常简化的应用电路示例。需在实际应用中进行验证功能。

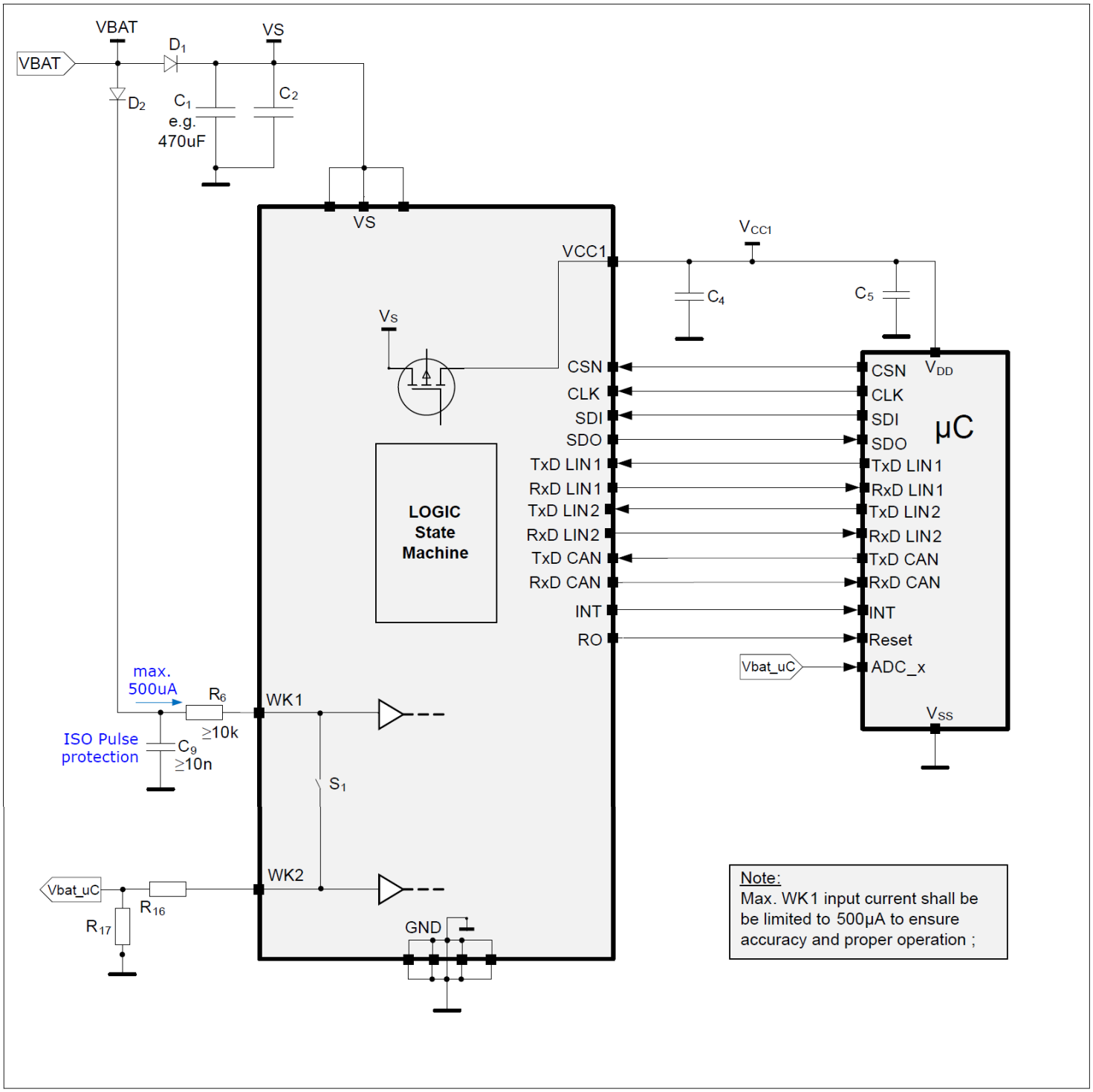


图 65　　通过 WK1 和 WK2 实现交替测量功能的简化应用图

注释： *这是一个非常简化的应用电路示例。其功能必须在实际应用中进行验证。WK1 必须连接到待测信号，WK2 是微控制器监控功能的输出。流入 WK1 的最大电流必须小于 500 μA。为确保正常工作，流入 WK1 的最小电流应大于 5 μA。*

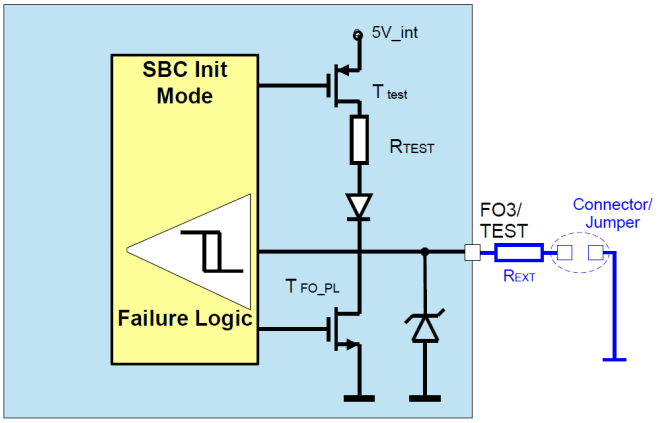


图 66　　在调试或编程过程中提高 FO3/TEST 引脚鲁棒性的提示

17.2 ESD测试

注释： *已按照IEC61000-4-2“枪测试”（150 pF，330 Ω）对ESD 鲁棒性进行了测试。测试结果和测试条件详见测试报告。测试目标值列于表 41。*

表 41 ESD“枪测试”

Performed Test	Result	Unit	Remarks
ESD at pin CANH, CANL, *LIN*, VS, WK1…3, HSx, VCC2, VCC3 versus GND	> 6	kV	1) 2) Positive pulse
ESD at pin CANH, CANL, LIN, VS, WK1…3, HSx, VCC2, VCC3 versus GND	< -6	kV	1) 2) Negative pulse

1) ESD测试“枪测试”指定使用外部元器件连接引脚 VS、WK1…3、HSx、VCC3 和 VCC2。请参阅应用图以了解更多信息。

2) 依据LIN *EMC* 1.3 测试规格第 4.3 节 (IEC 61000-4-2)进行的ESD 耐受性“ESD GUN”。测试由外部测试机构（IBEE Zwickau、EMC 测试报告编号：04-01-17）完成。

已根据 SAE J2962-2 (2010) 进行了EMC和 ESD 耐受性测试。由外部测试机构 (UL LLC) 测试。

17.3 封装的热行为

下图显示了器件的热阻抗 (R_{th_JA}) 与*PCB* 底部散热面积的关系。温度 Ta = 85°C。每条线代表不同的PCB 和导热过孔设计。

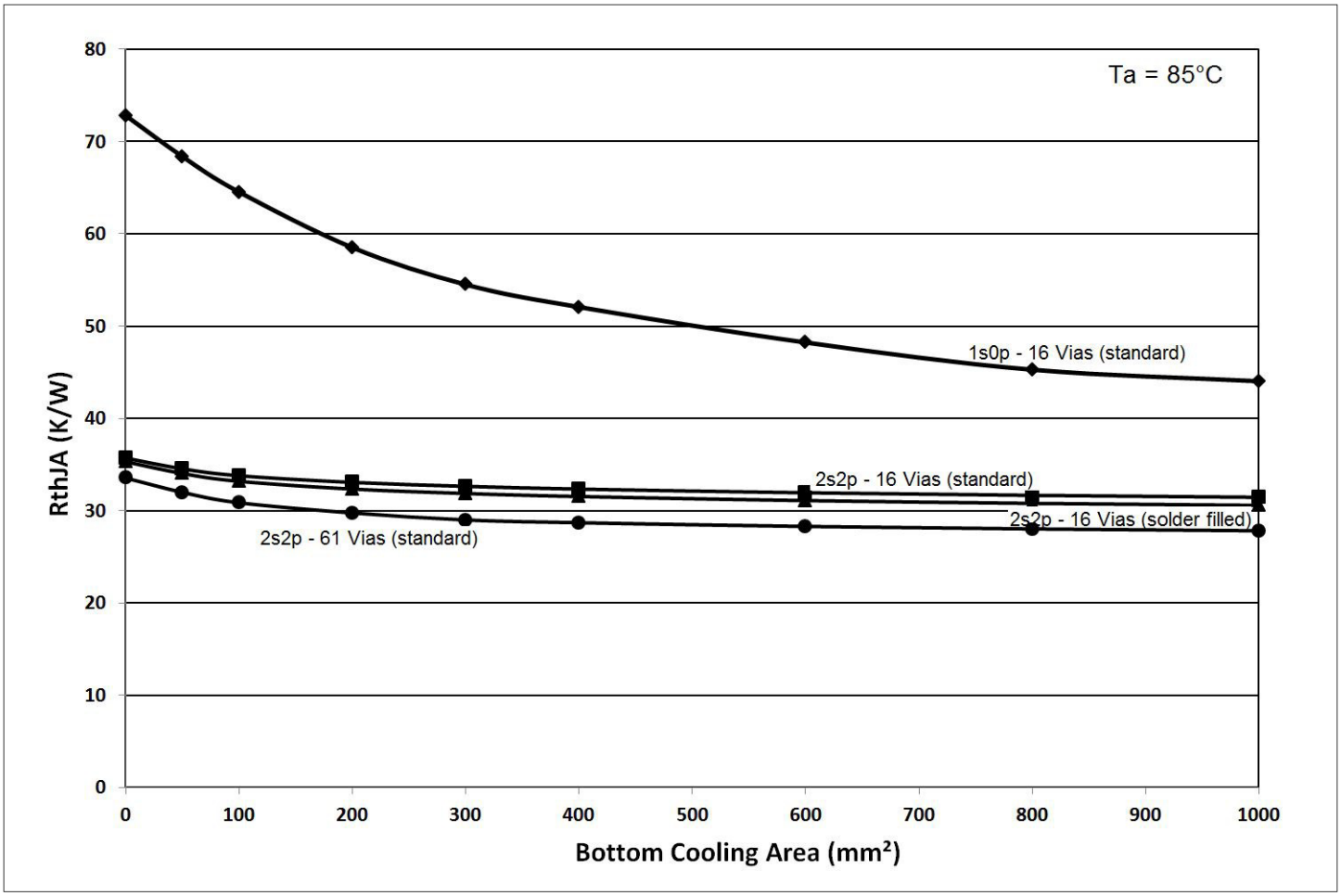


图 67 热阻抗 (R_{th_JA}) 与散热面积的关系

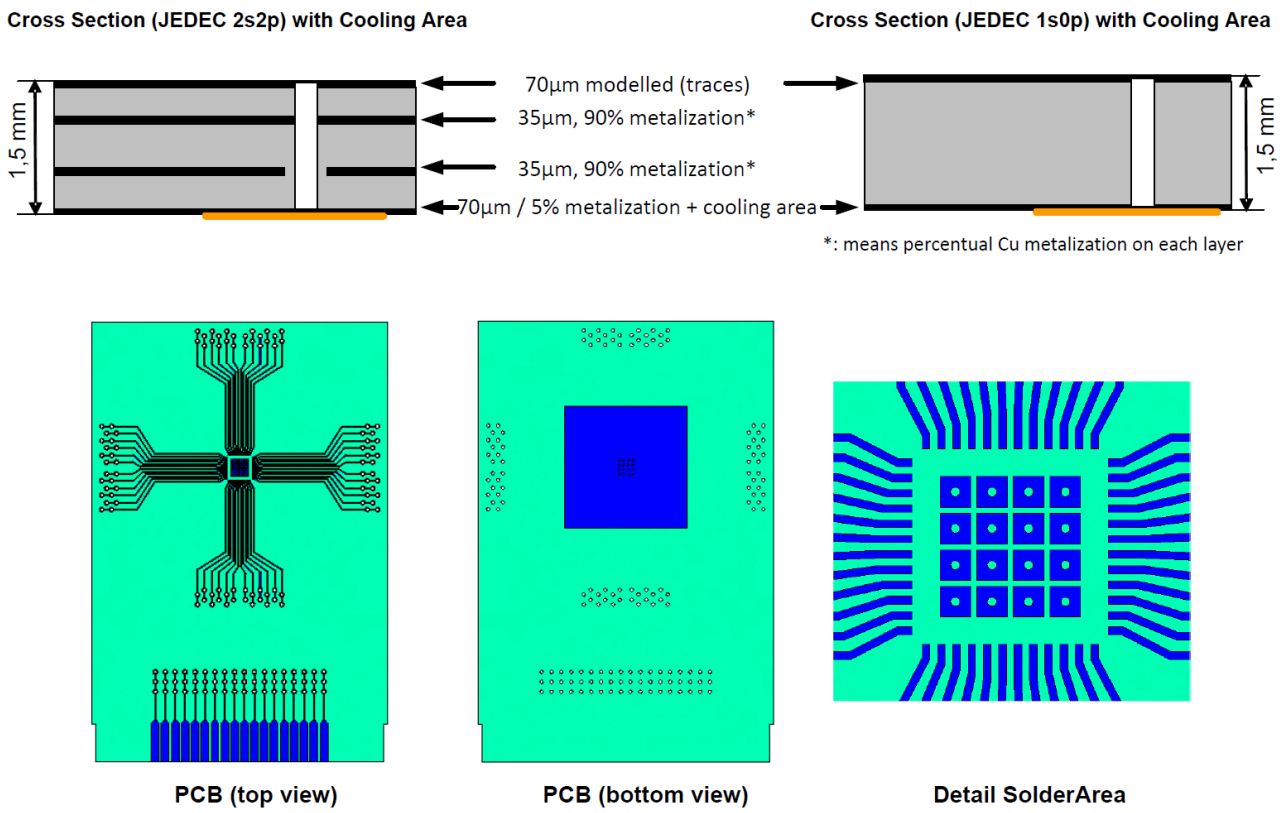
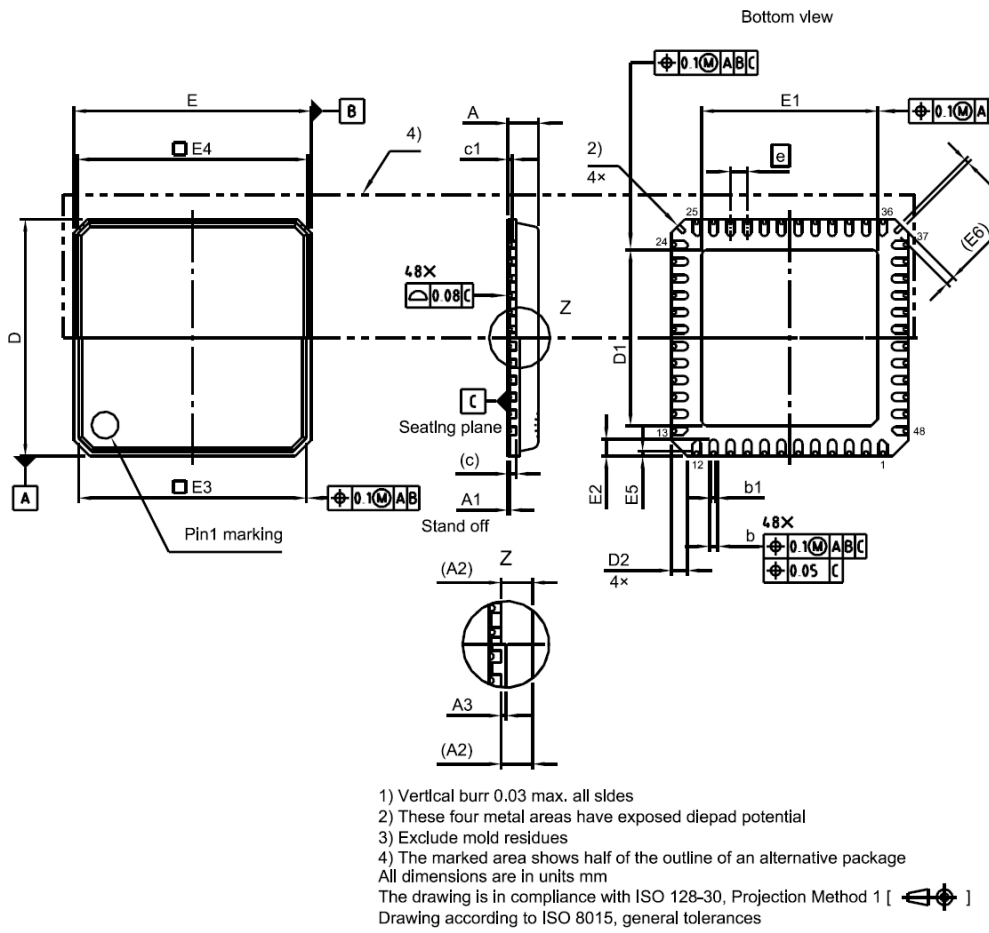


图 68　　电路板设置

电路板设置根据 JESD 51-2,-5,-7 进行定义。

电路板：76.2 × 114.3 × 1.5 mm^3，含两层内层铜箔（厚度35µm），裸露的散热焊盘下方设有导热过孔阵列连接第一内层铜箔，底层（70µm）配备300mm^2散热面积。

18 封装信息



PACKAGE-GROUP NUMBER:	PG-VQFN-48-U01	
DIMENSIONS	MILLIMETERS	
	MIN.	MAX.
A	0.80	0.90
A1	0.00	0.05
A2	0.65	
A3	0.00	0.10
b	0.18	0.30
b1	0.05	0.20
b2	0.08	0.18
c	0.2	
c1	0.07	0.15
D	6.90	7.10
D1	5.10	5.30
D2	0.30	0.60
E	6.90	7.10
E1	5.10	5.30
E2	0.43	0.57
E3	6.51	6.91
E4	6.60	7.00
E5	0.08	0.22
E6	0.26	
e	0.5	

图 69 PG-VQFN-48

绿色产品（符合 RoHS 标准）

为了满足全球客户对环保产品的要求，并符合政府规定，该器件可作为绿色产品提供。绿色产品符合RoHS标准（即，引线采用无铅涂层，并且符合IPC/JEDEC J-STD-020标准，适用于无铅焊接）。

封装信息

有关封装的更多信息（例如组装建议），请参阅 www.infineon.com/packages。

词汇表

ADC
模数转换器(ADC)

AOI
自动光学检测（AOI）
对印刷电路板 (PCB) 制造进行自动视觉检测，其中摄像头自主扫描被测器件，以检测灾难性故障和质量缺陷。

CAN
控制器局域网络(CAN)

CDM
充电器件模型（CDM)
用于表征电子器件对静电放电（ESD）损坏的敏感性的模型。

CRC
循环冗余校验(CRC)
一种使用校验和来检查数据传输有效性的程序。

DLC
数据长度代码（DLC）
CAN 报文的一部分。它过去仅仅表示 CAN 报文的长度（以字节为单位），因此其值介于 0 到 8 之间（含 0 和 8）。在修订后的 CAN 标准（2003 年起）中，它可以取 0 到 15 之间的任何值（含 0 和 15），但是 CAN 报文的长度仍然限制为最多 8 个字节。所有现有的 CAN 控制器都能处理大于 8 的 DLC。

ECU
电子控制单元(ECU)
汽车电子设备中的嵌入式系统，用于控制汽车或其他电动车辆中的一个或多个电气系统或子系统。

EMC
电磁兼容性（EMC）
电气设备和系统在电磁环境中正常运行的能力，
通过限制无意产生、传播和接收的电磁能可能会造成不必要的影响，如电磁干扰（EMI），甚至对运行设备造成物理损坏。

EME
电磁辐射（EME）
电磁波谱内的发射。

ESR
等效串联电阻（ESR）
代表由电阻器和理想的电容器或电感器组成的简单电子电路中有用能量的损耗的值。

GPIO
通用输入/输出（GPIO）

HBM
人体模型（HBM）
基于人体的用于表征电子器件对静电放电（ESD）损坏的敏感性的模型。

HVAC
供暖、通风和空调（HVAC）
供暖、通风和空调是利用各种技术来控制封闭空间内空气的温度、纯度和湿度。

I/O
输入/输出（I/O）
一个信息处理系统与另一个信息处理系统之间的通信。

IC
集成电路（IC）
一种构建在半导体材料薄基板表面上的迷你型电子电路。

LDO
低压差稳压器（LDO）
一种可以在输入和输出之间的电压差很小的情况下运行的线性稳压器。

LED
发光二极管（LED）
启动时发光的半导体电路。

LIN
局域互连网络（LIN）

MSB
最高有效位（MSB）
代码中最重要的二进制数字。

OEM
原始设备制造商（OEM）

PCB
印刷电路板（PCB）
机械支撑板和电气连接板利用导电走线、焊盘和其他蚀刻在层压到非导电基板上的铜片上的特征来连接电子元器件。

POR
上电复位（POR）
确保逻辑和存储器安全启动的功能。

PWM
脉宽调制（PWM）
一种将模拟值编码为具有任意振幅的脉冲信号的占空比的技术。

SBC

系统基础芯片（SBC）

一种集成电路，将汽车电子控制单元（ECU）的多种功能集成在单一芯片上。它包含通信总线接口等数字标准功能，以及模拟或电源功能。SBC的常见特性包括通信收发器、稳压器、诊断、监控功能、开关以及唤醒输入。

SPI

串行外设接口（SPI）

一种用于芯片间通信的同步串行通信接口规格，主要用于嵌入式系统。

UV

欠压（UV）

VBAT

电池电压供应（VBAT）

WD

看门狗(WD)

一种提供可靠和安全的方法来检测和恢复软件或硬件临时故障的技术。

WUP

唤醒模式（WUP）

触发器件从低功耗休眠模式转换到更高功率运行模式的特定信号序列。

修订记录

Revision	Date	Changes
1.00	2026-01-23	Datasheet created.

免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。
由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。
因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 http://www.infineon.com
英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。
您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

版本 **2026-01-23**

Infineon Technologies AG 出版，
德国 **Neubiberg 85579**

版权 © **2026 Infineon Technologies AG**
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this document?

Email:

erratum@infineon.com

重要通知

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称 "英飞凌"）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称 "产品"），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上述合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文档中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：
由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称"安全漏洞"），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文档包含或引用软件：
根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码(binary code)形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 **https://www.infineon.com**。