

基于 32 位 ARM® Cortex-M4 内核的 MCU，内置 6 通道 PWM，5 通道 13 位 ADC 和 2 路带比较器的差分可编程增益放大器，集成三相 600V 预驱

特性

- ARM® 32 位 Cortex-M4 CPU 内核
 - 单精度浮点运算单元（FPU）
 - 最高 125 MHz 主频
- 存储器
 - 64 KB Flash（可选 ECC 保护），支持就地执行
 - 16 KB RAM（偶校验保护）
- 复位和供电管理
 - 11 ~ 20 V 单电源供电
 - 内置降压开关电源，包含过温检测
 - 支持 VDDG 过压故障声明
 - 支持上电复位 POR 和欠压/过压检测 BOD
- 时钟
 - 支持外部时钟接入
 - 内置 32MHz 出厂校准振荡器
 - 内置 32MHz 安全备用振荡器
 - 内置锁相环（PLL）时钟
- 13 位模数转换器（5 个外部输入通道）
 - 最小 250 ns 转换时间
 - 2 个差分采样保持电路
 - 模拟信号输入范围：0 ~ 3.339V
 - 支持外部输入开路和短路检测
 - 8 个转换控制通道
 - 支持转换优先级控制
 - 支持多种事件触发采样转换请求
- 2 个差分可编程增益放大器（DPGA）
 - 可编程增益：2/4/8/16/24/32/48/64
 - 建立时间：250 ns 到 1.4 us；
- 3 个模拟比较器
 - 输出自带数字滤波器
 - 3 个 10 位数模转换（DAC）参考源
 - 可用于过流检测和相位比较
- 3 个脉宽调制模块（PWM）
 - 6 路可灵活配置的波形输出
 - 专用的 16 位计时器
 - 支持可编程的相位控制
 - 支持逐周期或者单次的封锁设置
 - 比较器输出和封锁输入可以生成事件或封锁触发条件
 - 所有事件均可触发 CPU 中断和 ADC 转换请求
- 集成三相 600V 预驱
 - 集成 600V 自举二极管
 - 内置 400ns 死区
 - 所有通道的传播延迟匹配
 - 每相均支持欠压保护（输出低）
- 集成 6 路 MOS（导通电阻 1.8Ω，电流 2A）
- 1 个 24 位系统滴答定时器
- 2 个 32 位看门狗定时器
- 2 个 32 位通用定时器
- 包括 8 个 GPIO 引脚
 - 独立的上下拉配置
 - 独立的输出驱动力配置
 - 独立的输入滤波使能配置
 - 5 个可复用为模拟输入



HFBP39（12 × 12 × 0.75 mm³）

- 1 个增强型捕获模块（ECAP）
 - 捕获输入引脚可选
 - 4 个 32 位捕获寄存器
 - 可选捕获或辅助 PWM（APWM）模式
- 通信接口
 - UART x 1, I2C x 1
- 安全模块
 - CRC x 1、64 位唯一识别号
- 调试接口
 - SWD
- 工作温度
 - 结温：-40°C ~ +125°C
 - 环境温度：-40°C ~ +105°C

栏目	SPM1123API39
CPU 最高频率（MHz）	125
Flash（KB）	64
OTP Flash（Byte）	512
SRAM（KB）	16
GPIO	8
13 位 ADC	1
外部输入通道数	5
DPGA	2
模拟比较器	3
DAC	3
D2S	2
PWM	3
输出通道数	6
ECAP	1
通用定时器	2
看门狗定时器	2
CRC	1
UART	1
I2C	1

目录

修订历史.....	8
1 器件概述.....	10
2 功能描述.....	12
2.1 ARM® Cortex-M4 内核	12
2.2 调试端口	12
2.3 片上 SRAM.....	12
2.4 片上 Flash	12
2.5 嵌套矢量中断控制器.....	13
2.6 外部中断/事件控制器	13
2.7 降压开关电源（DC-DC）	13
2.8 欠压/过压检测.....	14
2.9 时钟	14
2.10 启动模式	14
2.11 通用输入/输出（GPIO）	15
2.12 通用定时器	15
2.13 看门狗定时器	15
2.14 系统滴答定时器.....	15
2.15 通用异步收发器（UART）	16
2.16 内部集成电路总线（I2C）	16
2.17 模数转换器（ADC）	16
2.18 温度传感器	17
2.19 差分可编程增益放大器（DPGA）	17
2.20 模拟比较器（COMP）	18
2.21 脉宽调制模块（PWM）	18
2.22 三相驱动	19
2.23 增强型捕获模块（ECAP）	19
2.24 循环冗余校验（CRC）	19
3 引脚排列和引脚说明	20
3.1 HFBP39.....	20

3.2	GPIO 引脚复位后的功能和状态	23
3.3	芯片内部 MCU 和预驱之间的连接关系.....	23
3.4	芯片内部 MCU 和 DC-DC 之间的连接关系	24
3.5	ADC 输入通道选择.....	24
3.6	比较器输入通道选择.....	24
4	存储器映射	25
4.1	引导 ROM	26
5	电气特性.....	28
5.1	绝对最大额定值.....	28
5.2	推荐工作条件	29
5.3	I/O 电气特性	30
5.4	降压开关电源特性.....	31
5.5	电源功耗	32
5.6	内部 1.2V 稳压器特性	34
5.7	过压/欠压检测器 (BOD) 特性.....	34
5.8	内部振荡器 (RCO) 特性.....	34
5.9	锁相环时钟 (PLL) 特性	35
5.10	13 位模数转换器特性.....	35
5.11	可编程增益放大器特性.....	36
5.12	D2S 缓冲器特性	39
5.13	温度传感器特性.....	40
5.14	模拟比较器特性.....	40
5.15	内部 10 位数模转换器特性.....	41
5.16	Flash 存储器特性	41
5.17	预驱特性	42
5.18	电气敏感性特性.....	43
5.19	湿度敏感性特性.....	43
5.20	热阻特性	43
6	封装信息.....	44
6.1	HFBP39.....	44
7	PCB 布局布线建议	47

8	订购信息.....	48
8.1	订购编码规则	48

SPIN TROL

图片列表

图 1-1: SPM1123 典型应用框图	10
图 1-2: SPM1123 功能框图	11
图 1-3: 时钟树	11
图 3-1: SPM1123 HFBP39 引脚排列	20
图 4-1: 存储器映射	25
图 4-2: ROM 存储空间划分	26
图 5-1: 开关电源效率 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	31
图 5-2: 开关电源效率随温度变化情况 (DVDD 负载电流为 200mA)	31
图 5-3: 建立时间随增益的变化关系 (DPGA)	37
图 5-4: ENOBDC 随增益的变化关系 (DPGA)	38
图 5-5: SNR 随增益的变化关系 (DPGA)	38
图 5-6: THD 随增益的变化关系 (DPGA)	38
图 5-7: CMRR _{DC} 随增益的变化关系 (DPGA)	39
图 5-8: PSRR _{DC} 随增益的变化关系 (DPGA)	39
图 6-1: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装	44
图 6-2: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装建议尺寸	46
图 8-1: 订购编码规则	48

表格列表

表 2-1: 启动模式	14
表 3-1: SPM1123 HFBP39 引脚定义 ^[1]	21
表 3-2: GPIO 引脚复位后的功能和状态	23
表 3-3: 芯片内部 MCU 和预驱之间的连接关系	23
表 3-4: 芯片内部 MCU 和 DC-DC 之间的连接关系	24
表 3-5: ADC 输入通道选择	24
表 3-6: 比较器输入通道选择	24
表 4-1: 固化的函数库入口地址向量表	26
表 5-1: 绝对最大额定值 ^{[1][2]}	28
表 5-2: 推荐工作条件	29
表 5-3: I/O 电气特性	30
表 5-4: 降压开关电源特性	31
表 5-5: SPM1123 典型电流消耗（在 FLASH 中运行）	32
表 5-6: 外设电流消耗	33
表 5-7: 内部 1.2V 稳压器特性	34
表 5-8: BOD 特性	34
表 5-9: RCO 特性	34
表 5-10: PLL 特性	35
表 5-11: 模数转换器特性	35
表 5-12: 可编程增益放大器特性	36
表 5-13: D2S 缓冲器特性	39
表 5-14: 温度传感器（Tsensor）特性	40
表 5-15: 比较器特性	40
表 5-16: 数模转换器特性 ^[1]	41
表 5-17: Flash 存储器特性	41
表 5-20: 预驱特性	42
表 5-21: ESD 绝对最大值	43
表 5-22: 电气敏感性	43
表 5-23: 湿度敏感性特性	43
表 5-24: 热阻特性（HFBP39 封装）	43
表 6-1: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装机械数据	45
表 8-1: 订购信息	48

修订历史

版本	日期	作者	状态	变更
C/0	2025-05-29	J. Zhou	已发布	1. 首次发布。

术语或缩写

术语或缩写	描述
MCU	Microcontroller Unit, 微控制器单元
LDO	Low Dropout Regulator, 低压差稳压器
ECC	Error Correction Code, 纠错码

1 器件概述

SPM1123 是一颗高度集成的片上系统 (SiP) 微控制器，内置 32 位高性能 ARM® Cortex-M4 内核，提供最高 125MHz 的软件可编程时钟频率、64KB 嵌入式 FLASH、16KB 片上 SRAM、增强型 I/O 和外设资源，支持 13 位 ADC、2 路差分可编程增益运放、3 个增强型 PWM 模块、2 个通用 32 位定时器以及 UART、I2C 等通信接口。此外，SPM1123 还集成了一个具有 600V 电压处理能力的三相驱动和 6 个功率 MOSFET。驱动集成了三个 600V 自举二极管，以节省板载设备。6 个驱动通道均具有欠压锁定功能。VDDG 过压和过温功能集成在 DC_DC 电源部分。是电机控制应用的理想平台。

SPM1123 内置开关电源，支持 11~20V 输入产生 3.3V 电源，也支持直接 3.3V 外部电源供电。T_J 温度范围是 -40 °C ~ +125 °C，封装类型为 39 脚 HFBP。

图 1-1 为 SPM1123 的典型应用框图，图 1-2 为 SPM1123 的功能框图，图 1-3 为 SPM1123 的时钟树信息。

图 1-1: SPM1123 典型应用框图

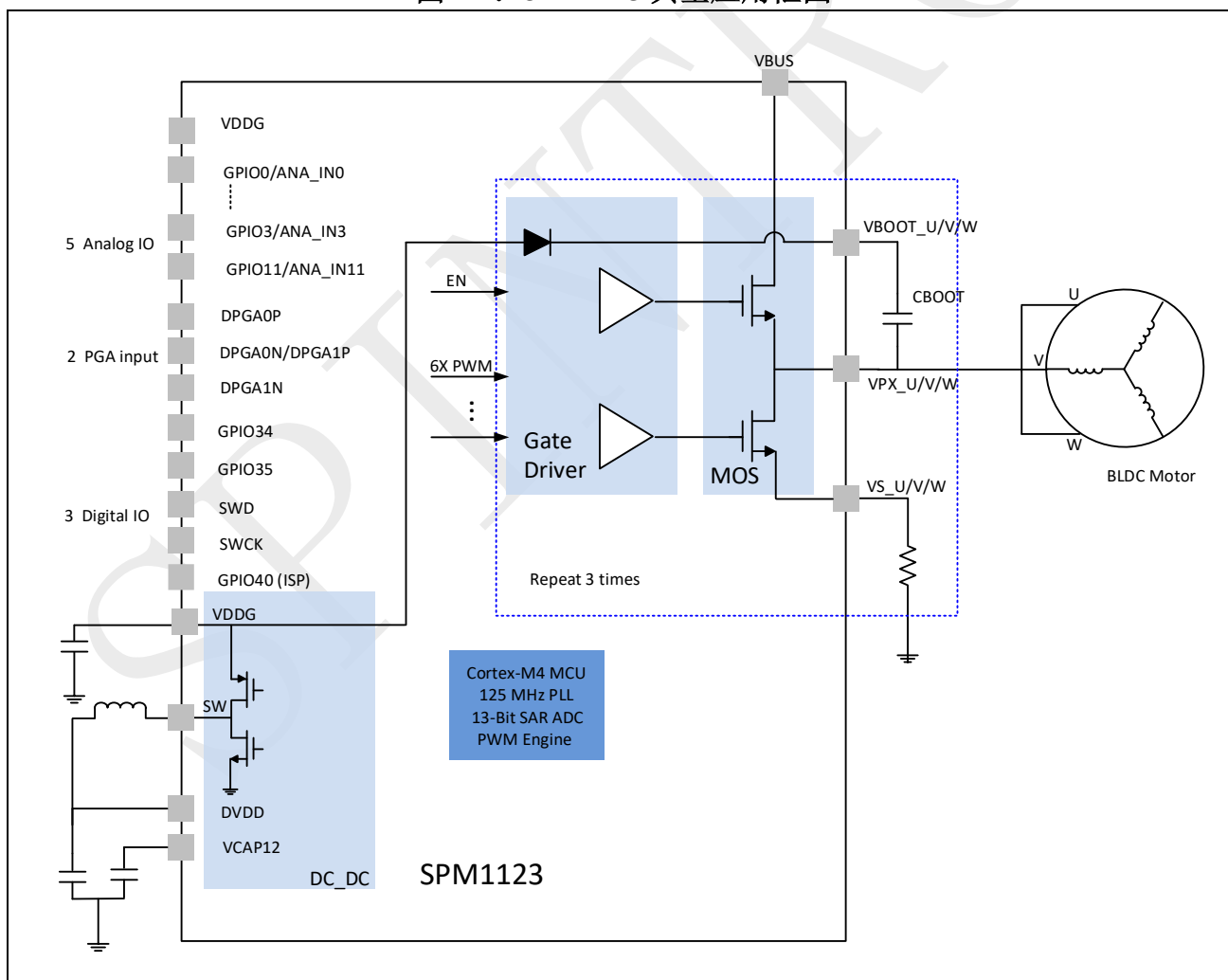


图 1-2: SPM1123 功能框图

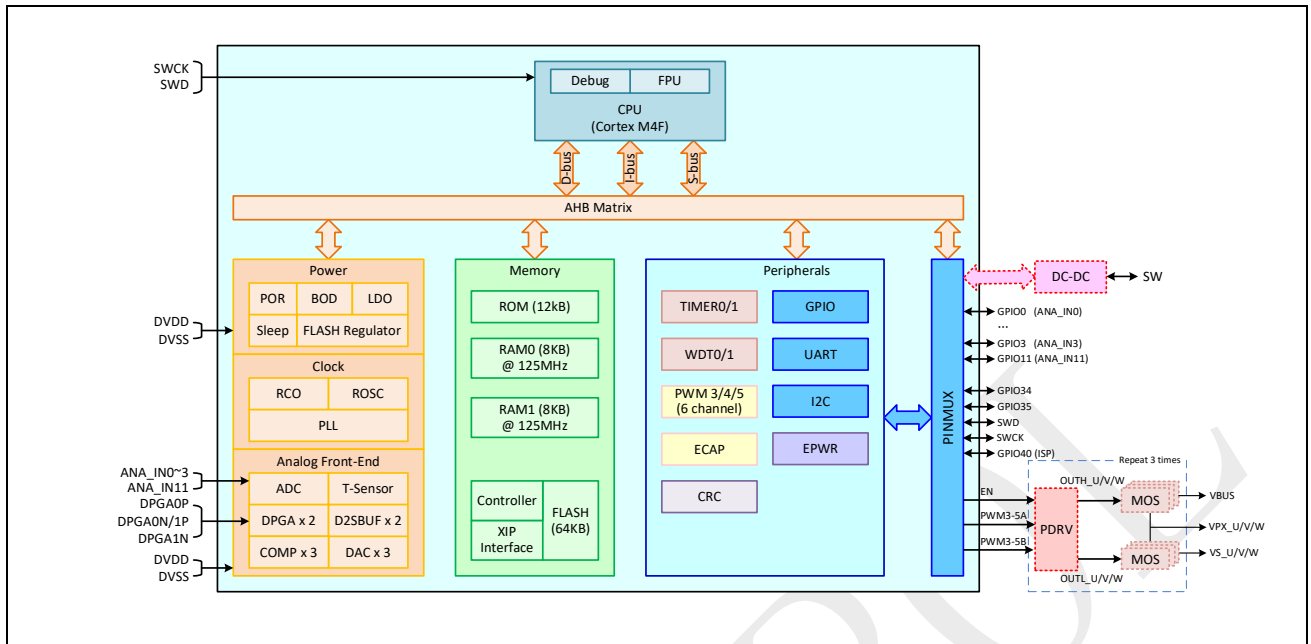
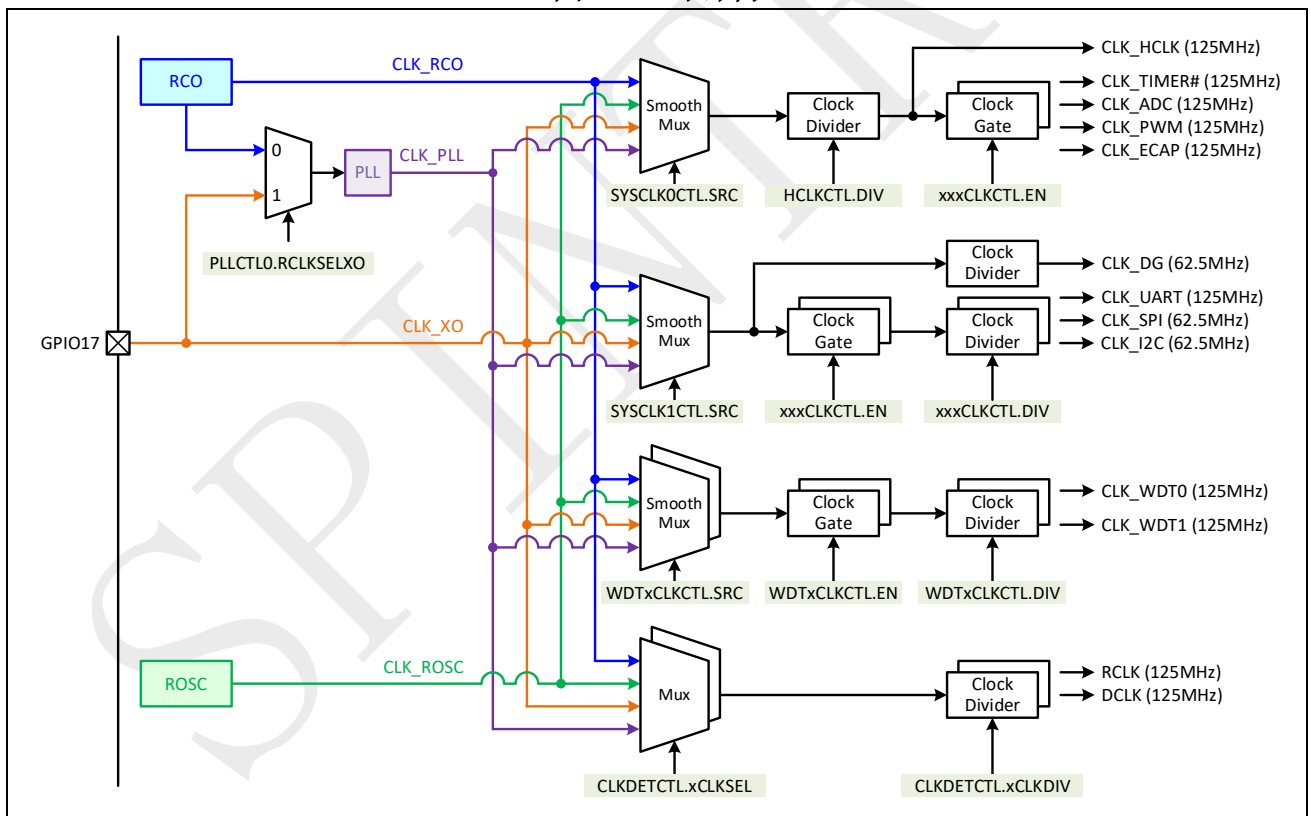


图 1-3: 时钟树



2 功能描述

2.1 ARM® Cortex-M4 内核

ARM® Cortex-M4 处理器是一个高性价比的平台，适用于具有高计算性能、快速中断响应、低功耗和管脚精简的微处理器设计。

SPM1123 集成了一颗全功能的 ARM® Cortex-M4 内核，带浮点处理单元（FPU），最高主频 125MHz，兼容所有的 ARM® 工具和软件。

2.2 调试端口

SPM1123 采用 SWD 调试接口。

当 printf 底层通过 ITM（Instrumentation Trace Macrocell）实现，同时 GPIO40 指定为 SWV（Serial Wire Viewer）模式时，每次调用 printf，均可以在 GPIO40 观察到对应信号。

为了使用 SWV 功能，需要将 PINMUX->GPIO40 的 MUXSEL 位段配置为 6，并将 ARM® Cortex-M4F 位于地址 0xE000EDFC 的寄存器（CoreDebug->DEMCR）的第 24 位配置为 1。

2.3 片上 SRAM

SPM1123 提供 16KB 的片上 RAM 用于存储代码和数据，支持最高 125MHz 速率零等待的读写操作，分为如下两个 8KB 分区：

- RAM0：通过地址 0x1FFF C000 到 0x1FFF DFFF 或 0x2000 0000 到 0x2000 1FFF 访问。
- RAM1：通过地址 0x1FFF E000 到 0x1FFF FFFF 或 0x2000 2000 到 0x2000 3FFF 访问。

所有 RAM 均支持偶校验保护，校验错误可配置为触发复位或者中断，发生错误的地址记录在 RAM0ERRADDR 和 RAM1ERRADDR 寄存器中用于诊断。

2.4 片上 Flash

SPM1123 内嵌 Flash 存储器，可提供最大 64 KB 的空间用于存放代码和数据。如表 4-1 所示，Flash 存储器可以通过总线寄存器访问，由状态机发送命令来擦写 Flash 存储器，还支持通过特别设计的就地执行（XIP）接口读取 Flash 存储器的内容。因此，当 SPM1123 启动时，Flash 存储器中的代码可以就地执行，也可以被加载到 RAM 后再在 RAM 中执行。

出于数据安全性考虑，Flash 存储器提供了 ECC 功能，可以修正单比特错误和检测多比特错误。ECC 错误可以配置为触发复位或者中断，发生 ECC 错误的地址记录在 FLASHERRADDR 寄存器中用于诊断。

2.5 嵌套矢量中断控制器

SPM1123 内置有嵌套矢量中断控制器，可处理多达 29 个可屏蔽中断通道（不包含 16 个 Cortex-M4 的内部中断），支持 16 个可编程的优先级，从而具备如下特性：

- 紧耦合的 NVIC 使得中断响应更快。
- 直接向内核传递中断入口向量表地址。
- 处理后到但优先级较高的中断。
- 支持中断咬尾功能。
- 自动保存处理器状态。
- 退出中断时自动恢复现场，无需指令开销。

2.6 外部中断/事件控制器

SPM1123 提供了灵活的外部引脚中断或事件触发机制。任意 GPIO 引脚可以被编程作为外部中断或事件触发电源，提供 1 个电平触发的中断和 1 个边沿触发的中断。

2.7 降压开关电源（DC-DC）

SPM1123 集成一颗降压直流变换器，其特性如下：

- 可以为芯片本身和板上其他电路提供 3.3V 电源，总电流能力为 400mA。
- 开关电源的开关频率可设置为 400 kHz、600 kHz、1.2 MHz 和 2.4 MHz，自带展频功能来改善 EMI 性能。
- 轻载时，支持自动选择 PWM 模式和 PFM 模式来达到更高的效率。
- 支持强制 PWM 模式以达到最小的纹波性能。
- 输出谷电流限制在 400mA。当负载电流过大时，输出的 3.3V 电压会降低。
- 当出现 VDDG 过压，VDDG 欠压或者预驱芯片过温时，通过 EPWRTZ 信号发送提示信息。
- 支持关闭内部 DC-DC，采用外部 3.3V 供电，且要求上电斜率最大不超过 0.015 V/us。
- 内置有全局复位管脚以及上电复位（POR）电路，保证了所有的上电复位时序要求，方便使用。

2.8 欠压/过压检测

SPM1123 内置欠压/过压检测（BOD）。

MCU 部分监视 3.3V/1.2V 的电源域，并与预先设定的值进行比较。当电压高于或者低于阈值时，产生中断或者复位。中断服务例程随后产生一个警告消息并将微控制器导入安全状态。欠压/过压检测可通过软件使能。

预驱部分检测 VDDG 欠压，欠压时预驱输出低电平。

2.9 时钟

SPM1123 上电后，默认以出厂校准的 32MHz 内部振荡器作为时钟。用户可以通过软件切换为外部时钟或者锁相环（PLL）时钟。内置的 PLL 可以选择外部时钟或者 32MHz 内部振荡器作为输入参考，产生 25~125MHz 的时钟信号。

如图 1-3 所示，可以通过时钟源选择、使能控制和分频控制，实现灵活的时钟树。

2.10 启动模式

SPM1123 复位后，执行位于 ROM 上的引导程序，并支持如表 2-1 所示的两种启动模式。

- 当上电复位后，启动时检测到 GPIO40 为低，则进入 ISP 启动模式，启动加载器通过 UART 对 Flash 或者 RAM 进行重新编程。在这个过程中，GPIO34 被配置为 UART_TXD 功能；GPIO35 被配置为 UART_RXD 功能。
- 其余情况均进入正常启动模式，启动加载器跳转至 Flash 起始地址开始执行。

表 2-1：启动模式

GPIO40	复位原因	启动模式
0	上电复位	ISP 模式： 通过 UART 对 Flash 或者 RAM 进行重新编程
0	ARM® CPU 系统复位请求	
0	电源过压/欠压	正常启动模式： 从 Flash 存储器开始运行程序
0	锁相环失锁/时钟检测电路报错	
0	ROM/RAM/Flash 存储器错误	
0	看门狗定时器超时	
1	任何复位	

2.11 通用输入/输出（GPIO）

SPM1123 提供 8 个多用途的通用输入输出引脚。每个引脚可以由软件配置为输入、输出或外设复用功能，其特性如下：

- 每个 IO 引脚含有可配置的内置上拉和下拉电阻。
- 每个 IO 引脚含有可使能的输入信号数字滤波器。
- 每个 IO 引脚可被配置为外部中断或事件触发源，触发方式可配置为有效电平或边沿。

2.12 通用定时器

SPM1123 提供 2 个通用定时器，其特性如下：

- 模块时钟使能控制独立可配，最高时钟频率同 CPU。
- 32 位的自动重载递减计数器。
- 计数器减至零时，可以配置为产生中断、ADC 采样转换请求事件或者 PWMSYNC 事件。
- 支持 3 种工作模式
 - 通用定时模式：周期性递减计数。
 - 门控定时模式：由外部引脚电平使能计数。
 - 事件计数模式：对外部引脚边沿事件递减计数。

2.13 看门狗定时器

SPM1123 提供 2 个看门狗定时器，其特性如下：

- 模块时钟的来源、分频和使能控制均独立可配，最高频率同 CPU。
- 32 位的自动重载递减计数器。
- 计数器减至零时，可以产生中断。
- 计数器减至零并且中断标志已置位时，产生复位。
- 在调试模式下，看门狗计数器可以被冻结或者自由运行。

2.14 系统滴答定时器

ARM® Cortex-M4F 内置 1 个系统滴答定时器，专门为操作系统使用，也可以作为标准的递减定时器使用，其特性如下：

- 24 位递减计数器。
- 自动重载功能。
- 计数归零时产生可屏蔽的系统中断。

2.15 通用异步收发器 (UART)

SPM1123 提供 1 个 UART 模块，其特性如下：

- 模块时钟使能控制独立可配，最高频率同 CPU。
- 支持在串行数据中增加或删除标准异步通信位（开始，停止和奇偶）。
- 5 - 8 个数据位。
- 支持奇、偶、固定高、固定低或无校验。
- 支持 1 个、1.5 个以及 2 个停止位生成。
- 支持最高波特率为时钟频率的 1/16。
- 自动波特率检测。
- 收发各有 64 字节的 FIFO。

2.16 内部集成电路总线 (I2C)

SPM1123 提供 1 个 I2C 模块，兼容通用 I2C 协议，其特性如下：

- 模块时钟使能和分频控制独立可配，最高频率为 62.5MHz。
- 3 种速率：标准模式（100 kbps）、快速模式（400 kbps/1 Mbps）、高速模式（3.4 Mbps）。
- 主或从模式。
- 7 位或 10 位寻址模式。
- 7 位或 10 位组合格式传输。
- 支持时钟拉伸。
- 支持发送异常中止的侦测。
- 收发各有 16 字节的 FIFO。

2.17 模数转换器 (ADC)

SPM1123 支持 1 个 13 位高速模数转换器，可用于电流采样等电机控制场景，其特性如下：

- 13 位分辨率。
- 最小 250 ns 转换时间。
- 2 个差分采样保持电路。
- 模拟信号输入范围：0 ~ 3.339V。

- 内置 1.2V 参考电压。
- 输入可来自于 5 个外部 IO 输入、温度传感器、内部电源、可编程增益放大器输出、D2SBUF 的输出。
- 支持外部输入开路和短路检测。
- 数字逻辑的时钟使能控制独立可配，最高频率同 CPU 频率。
- 8 个转换控制通道，触发源、输入信号、采样和转换时间、自动平均样本数均可独立配置，转换完成后产生独立的 EOC 事件。
- 固定转换优先级控制。
- 支持如下事件触发采样转换请求
 - 软件触发。
 - EOC 事件触发。
 - PWM REQ 信号。
 - TIMER REQ 信号。
 - 外部引脚请求。

关于 ADC 的更多特性，请参考表 5-11。

2.18 温度传感器

SPM1123 提供 1 个温度传感器，其特性如下：

- 产生一个随温度线性变化的电压，内部连接到 ADC 输入端。
- 测量精度：每个 13 位 ADC（见章节 2.17）码值对应于 1.74°C。
- 测量准确度：±12°C。
- 测量范围：-40 ~ 125°C。

2.19 差分可编程增益放大器（DPGA）

SPM1123 支持 2 个差分可编程增益放大器，其特性如下：

- 专用的模拟输入引脚：
 - DPGA0P、DPGA0N
 - DPGA1P、DPGA1N
- 可编程增益（ G_{DPGA} ）：
 - 2、4、8、16、24、32、48、64
- 差分输入电压：±2.7V / G_{DPGA} 。
- 共模输入电压（ $G_{DPGA}=2$ ）：-1.5V ~ 2V。
- 建立时间：250 ns 到 1.4 us。

- 输出可以直接连接到 13 位高速 ADC，也可以送给 D2SBUF 转换为单端信号。

关于可编程增益放大器的更多特性，请参考表 5-12。

2.20 模拟比较器（COMP）

SPM1123 支持 3 个高速比较器，配合内部数模转换器（DAC）作为参考可用来检测可编程增益放大器的输入或输出电压是否超出范围，内置 3 个 10 位 DAC，可用于产生静态电压作为比较器的阈值，但不保证动态改变码值产生波形的性能。

比较器具体的通道选择细节请参考章节 3.6。

- 轨到轨输入。
- 失调电压小于 10mV。
- 50 ns 典型相应时间。
- 可编程迟滞。
- 输出带数字滤波器。
- 可用于相位比较。
- 可用于上下边界（阈值可配）比较，实现过流检测，其结果可用于触发 PWM 封锁。
- 10 位 DAC 的输出电压为： $V_{DD} / 1024 \times \text{Code}$ 。

关于模拟比较器和数字模拟转换器特性的更多细节，请参考表 5-15 和表 5-16。

2.21 脉宽调制模块（PWM）

SPM1123 支持 3 个 PWM 模块（6 通道输出），可以独立生成复杂的波形而不需要 CPU 参与，其特性如下：

- 专用的 16 位计时器，支持周期和频率控制。
- 每个 PWM 模块产生两路输出，支持单边沿操作、双边沿对称操作或双边沿非对称操作。
- 所有事件均可触发 CPU 中断和 ADC 启动转换。
- 相对其他 PWM 模块，支持可编程的相位控制，包括延后或提前。
- 支持独立的上升沿和下降沿延时控制的死区生成。
- 支持逐周期或单次的封锁设置。
- 封锁条件可以在 PWM 输出端强制保持高、低或高阻抗状态逻辑电平。
- 比较器输出和封锁输入能够生成事件或者封锁触发条件。

2.22 三相驱动

SPM1123 集成了 3 对独立的高低边驱动和 6 路 MOS，其特性如下：

- 6 个通路的传输延迟相互匹配，典型值为 400ns。
- 支持通过配置 PWM 控制其输入波形。
- 支持全局使能控制，禁用时可同时关闭驱动的 6 个输出。
- 上桥臂的浮动电压可达 600V。
- 集成 6 路 MOS，导通电阻 1.8Ω，电流 2A。
- 内置死区时间典型值为 400ns，防止上下桥臂同时导通。
- 集成输入信号噪声滤波电路，提供更好的抗噪声能力。
 - 短于 250ns 的脉冲会被滤除。
 - 长于 250ns 的脉冲可以通过且脉宽不损失。

2.23 增强型捕获模块（ECAP）

SPM1123 支持 1 个 ECAP 模块，其特性如下：

- 灵活的输入捕获引脚：任意 GPIO 均可被配置为捕获引脚。
- 基于 32 位定时器的计数器。
- 4 个 32 位时间标签捕获寄存器。
- 与外部事件同步的 4 级序列器。
- 4 个事件均可独立选择边沿极性（上升/下降沿）。
- 4 个事件均可支持中断。

2.24 循环冗余校验（CRC）

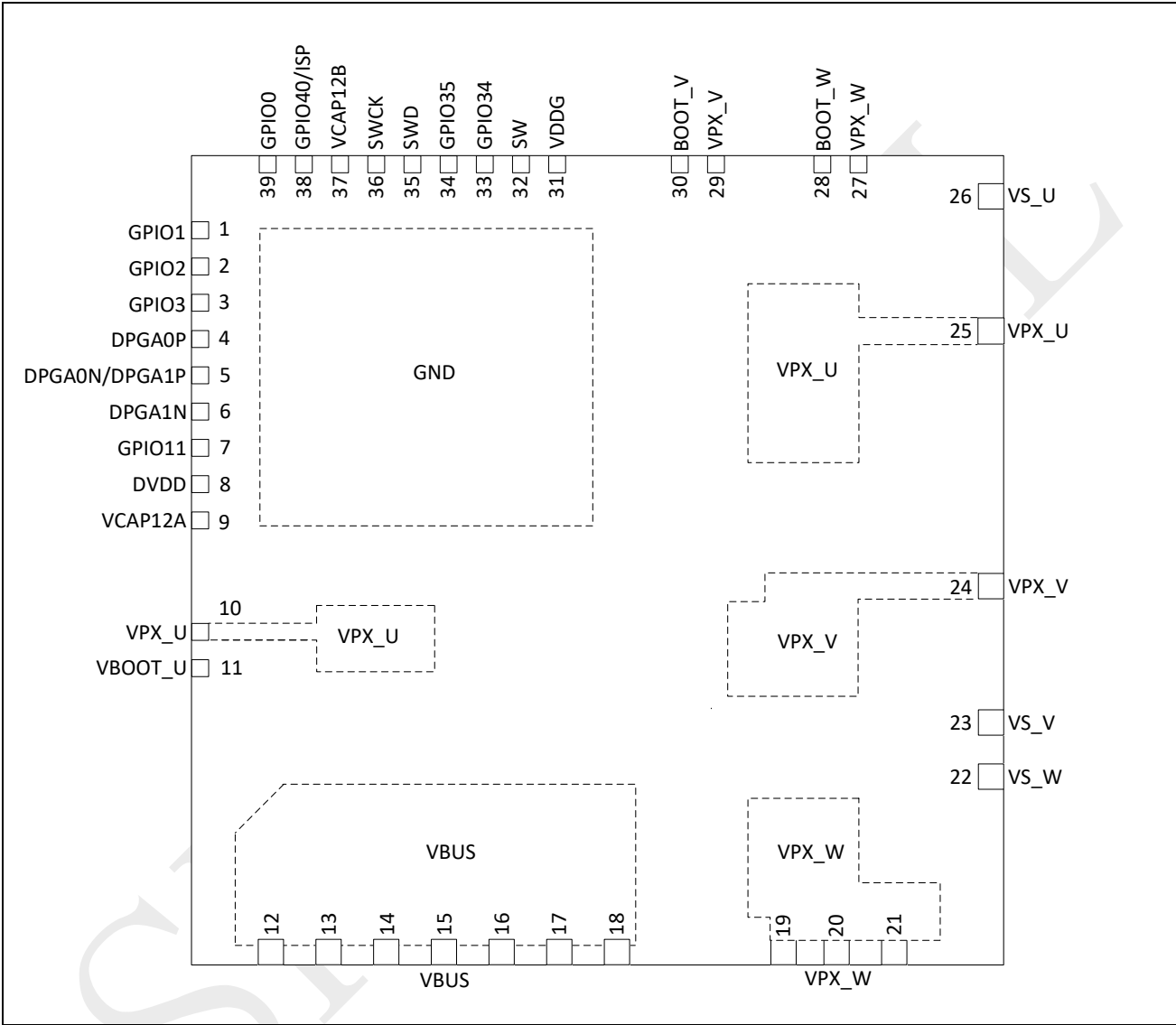
SPM1123 支持 1 个硬件 CRC 计算单元，用于验证数据传输或存储的完整性，其特性如下：

- 支持 32 位并行数据流输入。
- 支持多达 2^{32} 个字节长度的 CRC 计算。
- 支持 5 个 CRC 标准多项式。

3 引脚排列和引脚说明

3.1 HFBP39

图 3-1: SPM1123 HFBP39 引脚排列



[1] 上图为封装俯视图。

表 3-1: SPM1123 HFBP39 引脚定义^[1]

引脚	信号 ^[2]	类型	描述
1	GPIO1	I/O	通用输入/输出 1
	ANA_IN1	AI	ADC 通道 1 输入
	COMP0H	O	比较器 COMP0H 结果输出
2	GPIO2	I/O	通用输入/输出 2
	ANA_IN2	AI	ADC 通道 2 输入
	COMP1H	O	比较器 COMP1H 结果输出
3	GPIO3	I/O	通用输入/输出 3
	ANA_IN3	AI	ADC 通道 3 输入
	COMP0L	O	比较器 COMP0L 结果输出
4	DPGA0P	AI	可编程增益放大器 0 正端输入
5	DPGA0N	AI	可编程增益放大器 0 负端输入
	DPGA1P		可编程增益放大器 1 负端输入
6	DPGA1N	AI	可编程增益放大器 1 负端输入
7	GPIO11	I/O	通用输入/输出 11
	ANA_IN11	AI	ADC 通道 11 输入
	DCLK	O	CLKDET 模块监视时钟输出
	EPWRTZO	O	ePower 模块监视封锁信号输出
	COMP0L	O	比较器 COMP0L 结果输出
8	DVDD	S	数字电源, 增加 10uF 和 0.1uF 旁路陶瓷电容到 DVSS
9	VCAP12A	S	1.2V 电源, 增加 2.2uF 和 0.1uF 旁路陶瓷电容到 DVSS
10	VPX_U	S	预驱 U 相电压驱动
11	VBOOT_U	S	预驱 U 相自举点, 4.7uF 和 0.1uF 的 50V 陶瓷电容到 VPX_U
12/13/14/15/16/17/18	VBUS	S	电机电源
19/20/21	VPX_W	S	预驱 W 相电压驱动
22	VS_W	S	W 相驱动 GND (接地端)
23	VS_V	S	V 相驱动 GND (接地端)
24	VPX_V	S	预驱 V 相电压驱动
25	VPX_U	S	预驱 U 相电压驱动
26	VS_U	S	U 相驱动 GND (接地端)
27	VPX_W	S	预驱 U 相电压驱动
28	VBOOT_W	S	预驱 W 相自举点, 4.7uF 和 0.1uF 的 50V 陶瓷电容到 VPX_W
29	VPX_V	S	预驱 V 相电压驱动
30	VBOOT_V	S	预驱 V 相自举点, 4.7uF 和 0.1uF 的 50V 陶瓷电容到 VPX_V
31	VDDG	S	7 ~ 20V 电源输入, 增加 0.1uF 和至少 2.2uF 旁路陶瓷电容到 DVSS

引脚	信号 ^[2]	类型	描述
32	SW_DCDC	S	DC-DC 开关节点，增加 10uH 电感到 DVDD。电感的饱和电流需要大于 600mA。
33	GPIO34	I/O	通用输入/输出 34
	UART_TXD	O	UART 发送数据
	UART_RXD	I	UART 接收数据
	I2C_SDA	I/O	I ² C 数据
	I2C_SCL	I/O	I ² C 时钟
34	GPIO35	I/O	通用输入/输出 35
	UART_RXD	I	UART 接收数据
	UART_TXD	O	UART 发送数据
	I2C_SCL	I/O	I ² C 时钟
	I2C_SDA	I/O	I ² C 数据
35	SWD	I/O	SWD 调试口数据信号
36	SWCK	I	SWD 调试口时钟信号
37	VCAP12B	S	1.2V 电源，增加 0.1uF 旁路陶瓷电容到 DVSS
38	GPIO40 (ISP)	I/O	通用输入/输出 40（启动模式选择引脚）
	UART_TXD	O	UART 发送数据
	DCLK	O	CLKDET 模块用于监视的时钟输出
	EPWRTZ0	O	ePower 模块用于监视的封锁信号 0
	EPWRTZ1	O	ePower 模块用于监视的封锁信号 1
	注意：当 PINMUX->GPIO40 的 MUXSEL 位段配置为 6，并将 ARM® Cortex-M4F 位于地址 0xE000EDFC 的寄存器（CoreDebug->DEMCR）的第 24 位配置为 1 时，该引脚始终作为 SWV 使用，不能被配置为其他功能。		
39	GPIO0	I/O	通用输入/输出 0
	ANA_IN0	AI	ADC 通道 0 输入
	COMP0L	O	比较器 COMP0L 结果输出

[1] I = 数字输入，O = 数字输出，AI = 模拟输入，AO = 模拟输出，S = 电源。

[2] 可配置任意 GPIO 引脚作为 ECAP 输入和输出。

3.2 GPIO 引脚复位后的功能和状态

表 3-2: GPIO 引脚复位后的功能和状态

引脚名称	默认功能	默认状态
GPIO0	ANA_IN0	浮空
GPIO1	ANA_IN1	浮空
GPIO2	ANA_IN2	浮空
GPIO3	ANA_IN3	浮空
GPIO11	ANA_IN11	浮空
GPIO18 ^[1]	GPIO18	下拉
GPIO19 ^[1]	GPIO19	下拉
GPIO20 ^[1]	EPWR_TZ0_I	下拉
GPIO24 ^[1]	GPIO24	上拉
GPIO25 ^[1]	EPWR_TZ0_I	浮空
GPIO26 ^[1]	GPIO26	下拉
GPIO27 ^[1]	GPIO27	下拉
GPIO28 ^[1]	GPIO28	下拉
GPIO29 ^[1]	GPIO29	下拉
GPIO32 ^[1]	GPIO32	上拉
GPIO34	GPIO34	上拉
GPIO35	GPIO35	上拉
GPIO40	GPIO40/ISP	上拉

[1] 为内部引脚。

3.3 芯片内部 MCU 和预驱之间的连接关系

表 3-3: 芯片内部 MCU 和预驱之间的连接关系

MCU 引脚	引脚配置	预驱信号描述
GPIO20	GPIO 输出	预驱的使能控制
GPIO18	PWM3A	预驱 W 相上端 PWM 波形输入
GPIO19	PWM3B	预驱 W 相下端 PWM 波形输入
GPIO26	PWM4A	预驱 V 相上端 PWM 波形输入
GPIO27	PWM4B	预驱 V 相下端 PWM 波形输入
GPIO28	PWM5A	预驱 U 相上端 PWM 波形输入
GPIO29	PWM5B	预驱 U 相下端 PWM 波形输入

3.4 芯片内部 MCU 和 DC-DC 之间的连接关系

表 3-4: 芯片内部 MCU 和 DC-DC 之间的连接关系

MCU 引脚	引脚配置	DC-DC 信号描述
GPIO24	EPWRSDAT	DC-DC SPI 数据信号
GPIO25	EPWRSCLK	DC-DC SPI 时钟信号
GPIO32	EPWRSFRM	DC-DC SPI 片选信号

3.5 ADC 输入通道选择

表 3-5: ADC 输入通道选择

选项	SH0		SH1	
	SHINSELP	SHINSELN	SHINSELP	SHINSELN
0	GND		GND	
1	TSENSOR_P	TSENSOR_N	—	DAC2
2	DPGA0_OUTP	DPGA0_OUTN	DPGA1_OUTP	DPGA1_OUTN
3	VDD33	DAC0	VDD12	DAC1
4	ANA_IN0	ANA_IN1	ANA_IN2	ANA_IN3
5	ANA_IN1	ANA_IN0	ANA_IN3	ANA_IN2

3.6 比较器输入通道选择

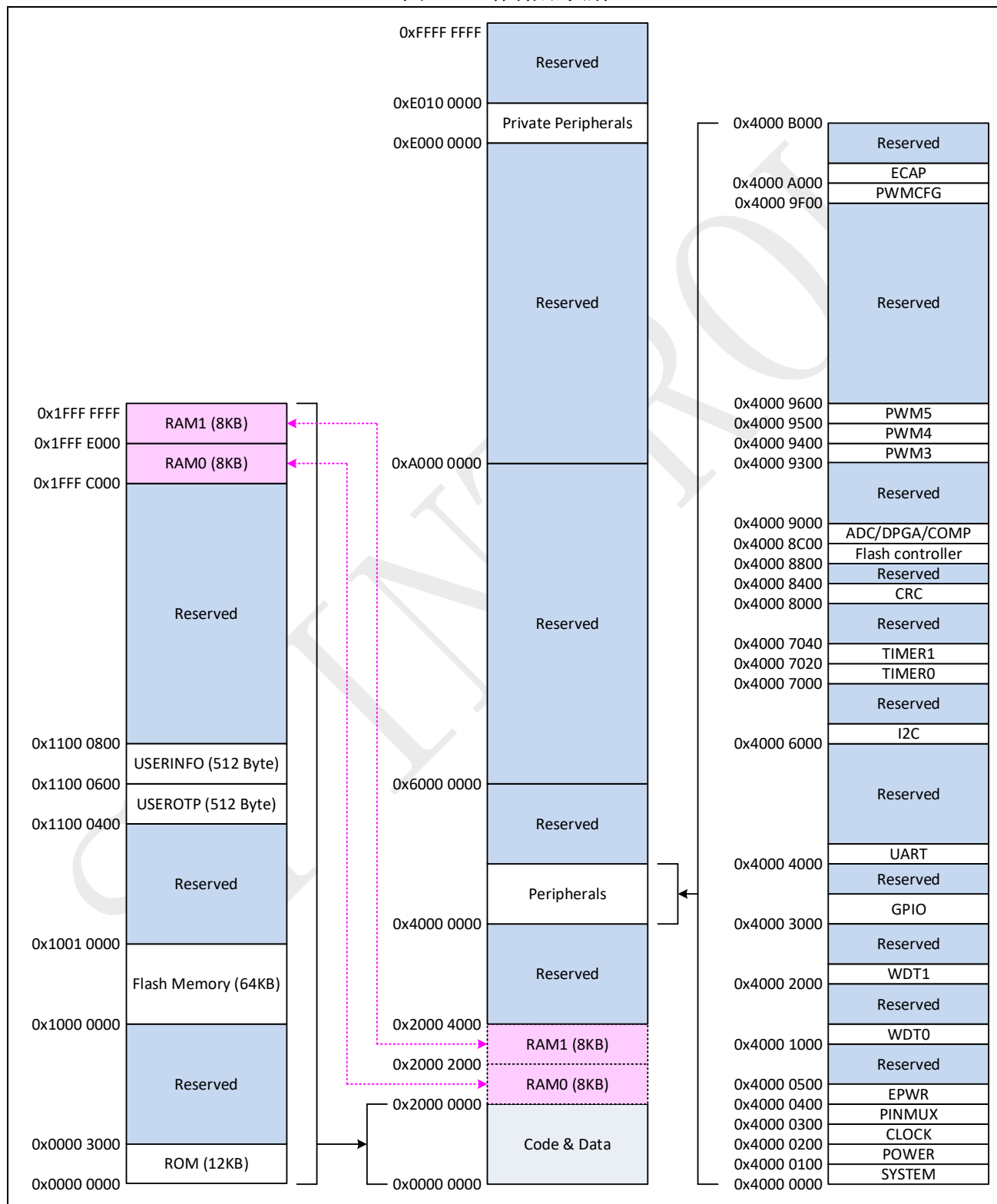
表 3-6: 比较器输入通道选择

INSEL	COMP0L		COMP0H		COMP1H	
	输入信号	参考信号	输入信号	参考信号	输入信号	参考信号
0	D2SBUF0	DAC1	D2SBUF0	DAC0	D2SBUF0	DAC2
1	D2SBUF1	DAC1	D2SBUF1	DAC0	D2SBUF1	DAC2
2	ANA_IN0	DAC1	ANA_IN0	DAC0	ANA_IN0	DAC2
3	ANA_IN1	DAC1	ANA_IN1	DAC0	ANA_IN1	DAC2
4	ANA_IN2	DAC1	ANA_IN2	DAC0	ANA_IN2	DAC2
5	ANA_IN3	DAC1	ANA_IN3	DAC0	ANA_IN3	DAC2
7	ANA_IN11	DAC1	ANA_IN11	DAC0	ANA_IN11	DAC2

4 存储器映射

SPM1123 的存储映射如图 4-1 所示。

图 4-1: 存储器映射



4.1 引导 ROM

SPM1123 集成 12KB 的片上 ROM 用于存放启动引导程序、与系统和 Flash 管理相关的函数库以及和用户代码中经常会用到的数学库，支持 ECC 保护，可以纠正单比特错误和检测多比特错误。ECC 错误可配置为触发复位或中断，发生 ECC 错误的地址记录在 ROMERRADDR 寄存器中用于诊断。

如图 4-2 所示，为了方便用户进行系统管理、Flash 操作和三角函数等运算，ROM 中固化了函数库，其入口地址向量表存放的起始地址为 0x0000 2F60。表 4-1 罗列了函数库的细节。

为了保护代码，用户只允许读取入口地址向量表的内容，以及执行函数库代码，而无法读取函数的具体内容。

图 4-2：ROM 存储空间划分

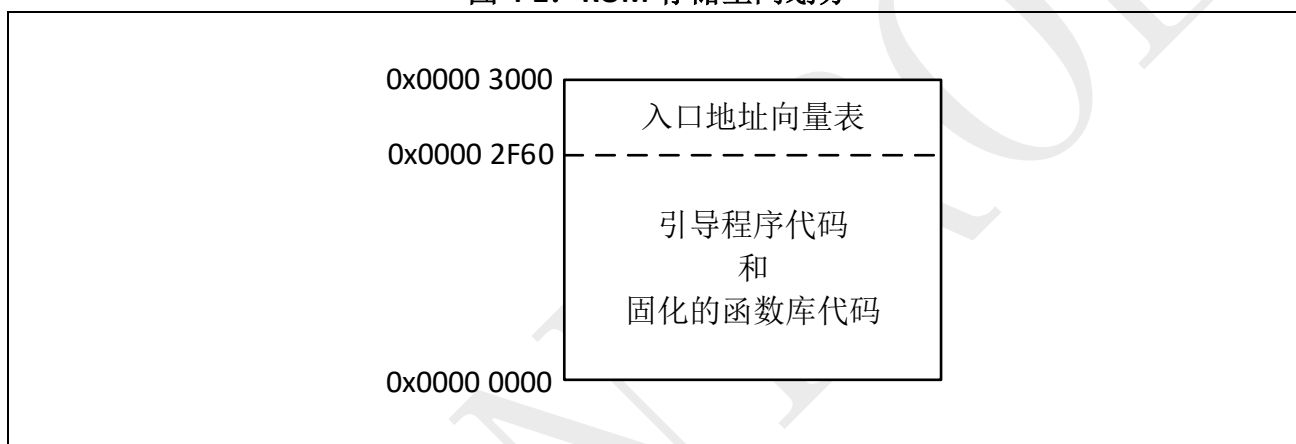


表 4-1：固化的函数库入口地址向量表

函数名	向量地址	说明
FLASH_SetTiming	0x0000 2F60	根据时钟频率配置 Flash 时序参数
FLASH_Init	0x0000 2F64	初始化 Flash 配置
FLASH_Read	0x0000 2F68	读取 Flash 内容（常规 0/1 判别阈值）
FLASH_VerifyProgramRead	0x0000 2F6C	读取 Flash 内容用于验证烧录是否正确（采用偏于更难读到 0 的阈值）
FLASH_VerifyEraseRead	0x0000 2F70	读取 Flash 内容用于验证擦除是否正确（采用偏于更难读到 1 的阈值）
FLASH_VerifyErase	0x0000 2F74	检查指定区域的 Flash 是否被成功擦除
FLASH_Erase	0x0000 2F78	按照指定方式擦除 Flash 指定的地址（本函数不对客户开放）
FLASH_EraseSector	0x0000 2F7C	擦除 Flash 指定的扇区
FLASH_EraseBlock	0x0000 2F80	擦除 Flash 指定的块
FLASH_EraseChip	0x0000 2F84	擦除 Flash 整个主分区
FLASH_ProgramWord	0x0000 2F88	烧录一个字（32 位）到 Flash 指定地址
FLASH_Program	0x0000 2F8C	烧录一组数据到 Flash 指定地址
FLASH_WriteProtect	0x0000 2F90	使能 Flash 主分区指定区域的写保护
FLASH_WriteUnProtect	0x0000 2F94	关闭 Flash 主分区指定区域的写保护
SYSTEM_Sleep	0x0000 2F98	配置唤醒条件并让系统进入睡眠模式

函数名	向量地址	说明
AtanF32	0x0000 2F9C	由应用团队提供的函数库
ThetaRadWrap	0x0000 2FA0	
SAT0	0x0000 2FA4	
SVPWM	0x0000 2FA8	
ClarkeF32	0x0000 2FAC	
InvParkF32	0x0000 2FB0	
ParkF32	0x0000 2FB4	
BubbleSortForCurrent	0x0000 2FB8	
Motor_1PhaseCurrentReconstruct	0x0000 2FBC	
Motor_1PhaseCurrentSamplingShift	0x0000 2FC0	
arm_sin_f32	0x0000 2FC4	
arm_cos_f32	0x0000 2FC8	

5 电气特性

5.1 绝对最大额定值

表 5-1: 绝对最大额定值^{[1][2]}

符号	参数	最小	最大	单位
V_{VDDG}	降压 DC-DC 供电电压, 相对于 V_{DVSS}	—	30	V
$I_{DC-DC(VALLY)}$	降压输出谷电流	—	400	mA
V_{DVDD}	供电电压, 相对于 V_{DVSS}	-0.3	4.6	V
V_{IN}	输入电压 ($V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$)	-0.3	4.6	V
V_O	输出电压	-0.3	4.6	V
I_{IC}	输入钳位电流	-20	+20	mA
I_{OC}	输出钳位电流	-20	+20	mA
V_{VPX}	相电压驱动	$V_{VBOOT} - 30$	$V_{VBOOT} + 0.3$	V
V_{VBOOT}	上管自举点电压	-0.3	630	V
V_{OUTH}	上管门极驱动电压	$V_{VPX} - 0.3$	$V_{VBOOT} + 0.3$	V
V_{OUTL}	下管门极驱动电压	-0.3	$V_{VDDG} + 0.3$	V
SR_{VPX}	VPX 允许的电压摆率	—	50	V/ns
T_J	结温 ⁽³⁾	-40	+125	°C
T_A	环境温度 ⁽³⁾	-40	+105	°C
T_{stg}	存储温度 ⁽³⁾	-65	+150	°C

[1] 超出绝对最大额定值范围的应力可能对器件造成永久性损坏。这些数值只是额定应力, 并不意味着器件在这些条件下功能正常。

[2] 若无另行说明, 所有电压都是 V_{DVSS} 为基准。

[3] 长期的高温存储或在最大温度条件下的使用可能会减小器件的寿命。

5.2 推荐工作条件

表 5-2: 推荐工作条件

符号	参数	条件	最小	正常	最大	单位
V_{VDDG}	数字供电电压	—	11.0	15	20	V
V_{DVDD}	模拟供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
dV_{VDDG}/dt	VDDG 上电斜率	—	—	—	1	V/us
dV_{DVDD}/dt	外供 DVDD 上电斜率	—	—	—	0.015	V/us
I_{DC-DC}	DC-DC 供电能力	—	—	—	400	mA
V_{IH}	高电平输入电压	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$	2.0	—	$V_{DVDD} + 0.3$	V
I_{OH}	当 $V_{OH}=V_{OH(MIN)}$, 高电平输出, 源电流	STRENGTH = 0 STRENGTH = 1 STRENGTH = 2 STRENGTH = 3	—	—	4.5 9 13.5 18	mA
I_{OL}	当 $V_{OL}=V_{OL(MAX)}$, 低电平输出, 灌电流	STRENGTH = 0 STRENGTH = 1 STRENGTH = 2 STRENGTH = 3	—	—	4.5 9 13.5 18	mA
V_{VPX}	相电压驱动	—	—	—	600	V
V_{VBOOT}	上管自举点电压	—	$V_{VPX} + 11$	—	$V_{VPX} + 20$	V
V_{OUTH}	上管门极驱动电压	—	V_{VPX}	—	V_{VBOOT}	V
V_{OUTL}	下管门极驱动电压	—	V_{PVSS}	—	V_{VDDG}	V
$T_J^{[1]}$	结温	—	-40	—	+125	°C
T_A	环境温度	—	-40	—	+105	°C

[1] 后续章节除非特别说明, 否则所有特性均在 $T_J = -40 \sim +125\text{ °C}$ 条件下测得。

5.3 I/O 电气特性

表 5-3: I/O 电气特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{OH}	高电平输出电压	$I_{OH} = I_{OH(MAX)}$	$V_{DVDD} - 0.5$	—	—	V
V_{OL}	低电平输出电压	$I_{OL} = I_{OL(MAX)}$	—	—	0.4	V
V_{IH}	高电平输入电压	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$	2.0	—	$V_{DVDD} + 0.3$	V
V_{IL}	低电平输入电压	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$	$V_{DVSS} - 0.3$	—	0.8	V
I_{OH}	当 $V_{OH} = V_{OH(MIN)}$, 高电平输出, 源电流	STRENGTH = 0 STRENGTH = 1 STRENGTH = 2 STRENGTH = 3	—	—	4.5 9 13.5 18	mA
I_{OL}	当 $V_{OL} = V_{OL(MAX)}$, 低电平输出, 灌电流	STRENGTH = 0 STRENGTH = 1 STRENGTH = 2 STRENGTH = 3	—	—	4.5 9 13.5 18	mA
I_{IL}	低电平输入电流 (禁用上下拉电阻)	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$, $V_{IH} = 0\text{ V}$	—	—	2	uA
I_{IH}	高电平输入电流 (禁用上下拉电阻)	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$, $V_{IH} = V_{DVDD}$	—	—	2	uA
$\sum I_{OH}$	I/O 输出源电流总和	—	—	—	80	mA
$\sum I_{OL}$	I/O 输入灌电流总和	—	—	—	80	mA
R_{PU}	输入上拉电阻	—	—	41	—	k Ω
R_{PD}	输入下拉电阻	—	—	42	—	k Ω

5.4 降压开关电源特性

表 5-4: 降压开关电源特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$V_{th1}(VDDGUV)$	VDDG 欠压触发阈值	—	—	5.4	—	V
$V_{th0}(VDDGUV)$	VDDG 欠压解除阈值	—	—	5.9	—	V
V_{SW_DCDC}	DC/DC 输出电压	—	3.15	3.3	3.45	V
$R_{DS(on)(HS)}$	DC/DC 高边导通阻值	—	—	1.78	—	Ω
$R_{DS(on)(LS)}$	DC/DC 低边导通阻值	—	—	0.576	—	Ω
η	效率	200mA@ $V_{VDDG} = 15V$	—	83	—	%
I_{clamp}	限流阈值	—	—	400	—	mA

图 5-1: 开关电源效率 ($T_A = 25^\circ C$)

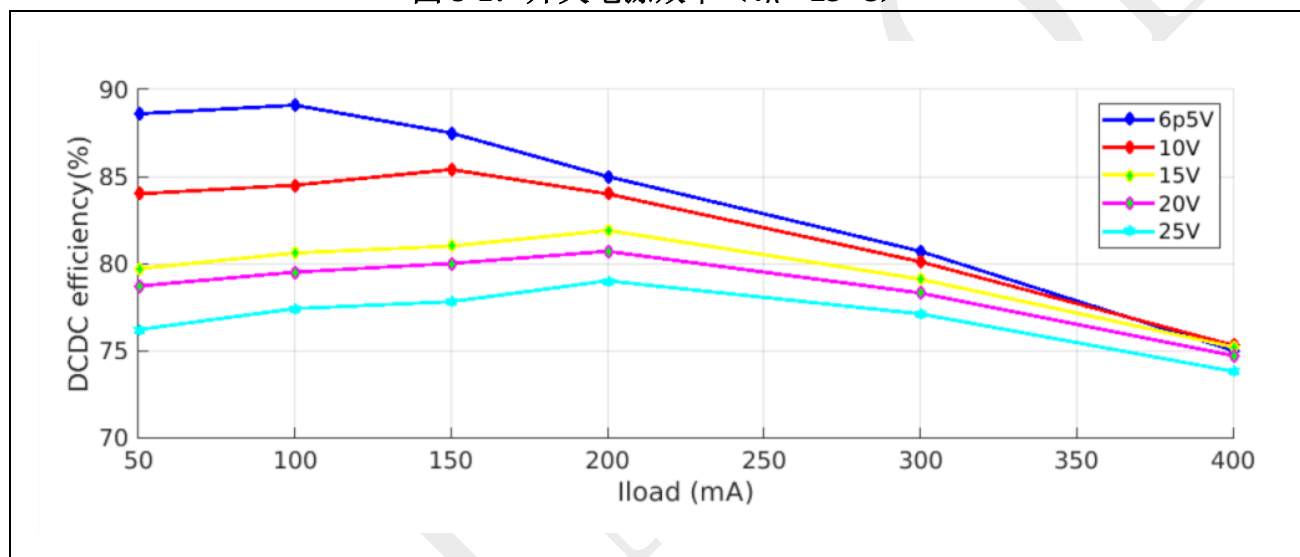
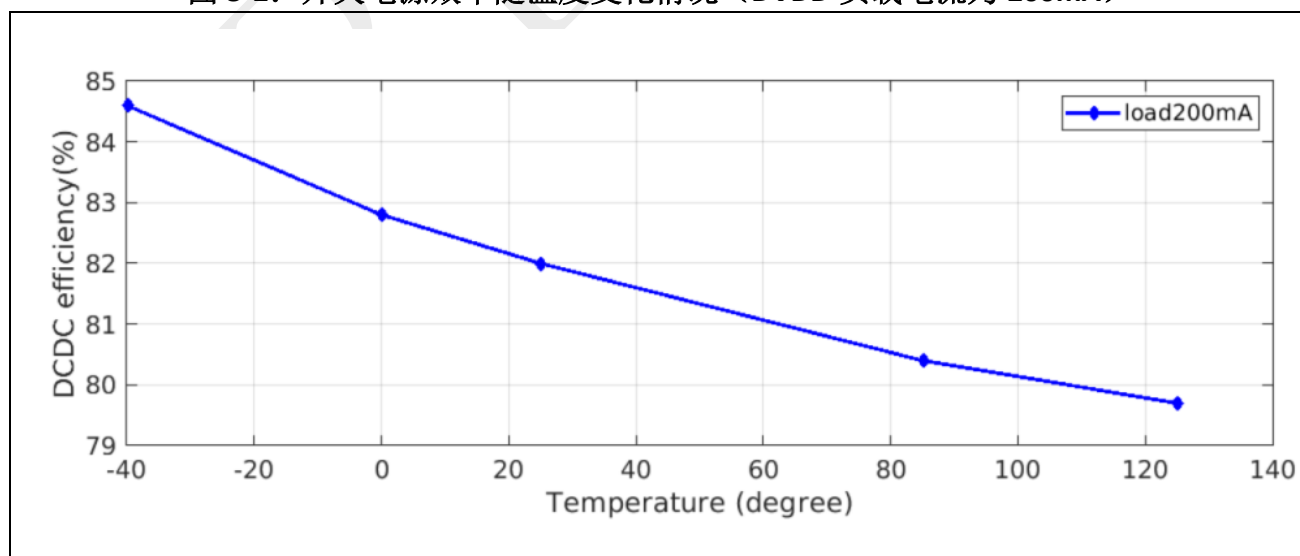


图 5-2: 开关电源效率随温度变化情况 (DVDD 负载电流为 200mA)



5.5 电源功耗

典型电流消耗

在工作模式下，SPM1123 处于以下状态：

- 所有的输入/输出引脚处于输入模式并保持断开。
- 所有外设（包括模拟模块）处于使能状态。
- 所有外设时钟均和 HCLK（分频为 1）一样快，除了 SPI（最大 62.5MHz），I2C（最大 62.5MHz）和 DGCLK（最大 62.5MHz）。
- 所有时钟模块处于使能状态。
- 系统时钟源为 PLL 时钟。

在睡眠模式下，SPM1123 处于以下状态：

- 所有的输入/输出引脚处于输入模式并保持断开。
- 所有外设（包括模拟模块）没有时钟输入或被禁用。
- 时钟模块（PLL，RCO 和 XO）被禁用。
- 1.2V LDO 被关断到 0V。

SPM1123 从 15V 的 VDDG 测量到的典型的电流消耗如表 5-5 所示。

表 5-5：SPM1123 典型电流消耗（在 FLASH 中运行）

模式	条件		典型值		单位
	f_{CPU}	f_{pll}	RCO 为时钟源	XO 为时钟源	
工作	125MHz	125MHz	TBD	TBD	mA
	100MHz	100MHz	TBD	TBD	mA
	75MHz	75MHz	TBD	TBD	mA
	50MHz	50MHz	TBD	TBD	mA
	32MHz	32MHz	TBD	TBD	mA
睡眠	—	—	TBD		uA

[1] 典型值的测量条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $VDDG = 15\text{V}$ 。

片上外设电流消耗

片上外设的电流消耗如表 5-6 所示。该 MCU 处于以下的状态：

- 所有输入/输出引脚处于输入模式并保持断开。
- 所有外设（包括模拟外设，RCO 和 XO）无另行说明，均被禁用。
- 给定值是由测量的电流消耗计算得出。
- 所有外设时钟被禁用。
- 只有一个外设被使能。

表 5-6：外设电流消耗

外设 ^[1]	条件	典型值 ^[2]	单位
BOD	RCO 为系统时钟源； 所有其他外设处于默认状态；	TBD	uA
ADC	锁相环时钟为系统时钟源； 所有外设时钟与 HCLK 一样快； $f_{HCLK} = 125\text{ MHz}$, $f_{PLL} = 125\text{ MHz}$	TBD	mA
温度传感器		TBD	uA
DPGA ^[3]		TBD	uA
数模转换器		TBD	uA
比较器		TBD	uA
UART	UART 时钟 125MHz, 38400 bps	TBD	uA
I2C	I2C 时钟 62.5MHz, 2M bps	TBD	uA
PWM	PWM 时钟 125MHz	TBD	uA
ECAP	ECAP 时钟 125MHz	TBD	uA
看门狗	看门狗 WDT 时钟 125MHz	TBD	uA
定时器	定时器时钟 125MHz	TBD	uA
CRC	CRC 时钟 125MHz	TBD	uA
FLASH	HCLK 时钟 125MHz	TBD	mA
XO	以 RCO 为 PLL 时钟源，PLL 作为 CPU 的时钟源， $f_{pll} = 125\text{MHz}$	TBD	uA
RCO	以 XO 为 PLL 时钟源，PLL 作为 CPU 的时钟源， $f_{pll} = 125\text{MHz}$	TBD	uA
PLL	RCO 作为 CPU 的时钟源， $f_{pll} = 125\text{MHz}$	TBD	uA

[1] 当外设不止一个模块时，上述的电流值为所有模块的消耗。

[2] 典型值的测量条件是 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DDG} = 15\text{V}$ 。

[3] DPGA 模块测试时包括 D2S 缓冲器的消耗。

5.6 内部 1.2V 稳压器特性

表 5-7: 内部 1.2V 稳压器特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
V_{VCAP12}	输出电压	空载	—	1.22	—	V
$I_{load(max)}$	最大负载	—	—	—	70	mA
ΔV_{VCAP12}	负载调整率	负载电流 70mA	—	15	30	mV
$C_{load(ext)}$	负载电容	—	1.87	2.2	2.53	uF
I_{clamp}	钳位电流	正常工作	130	170	—	mA
		启动	—	30	—	mA
I_{on}	工作电流	—	—	50	—	uA

5.7 过压/欠压检测器 (BOD) 特性

表 5-8: BOD 特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
$V_{th1(VDD33OV)}$	DVDD 过压触发阈值	—	—	3.42	—	V
$V_{th0(VDD33OV)}$	DVDD 过压撤销阈值	—	—	3.31	—	V
$V_{th1(VDD33UV)}$	DVDD 欠压触发阈值	—	—	2.58	—	V
$V_{th0(VDD33UV)}$	DVDD 欠压撤销阈值	—	—	2.65	—	V
$V_{th1(VDD12OV)}$	VCAP12 过压触发阈值	—	—	1.33	—	V
$V_{th0(VDD12OV)}$	VCAP12 过压撤销阈值	—	—	1.31	—	V
$V_{th1(VDD12UV)}$	VCAP12 欠压触发阈值	—	—	0.94	—	V
$V_{th0(VDD12UV)}$	VCAP12 欠压撤销阈值	—	—	0.97	—	V
I_{on}	工作电流	—	—	91.2	—	uA

5.8 内部振荡器 (RCO) 特性

表 5-9: RCO 特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
f_{RCO}	RCO 频率	$T_J = -40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$	31.68	—	32.32	MHz
I_{on}	工作电流	—	—	149.8	—	uA

5.9 锁相环时钟（PLL）特性

表 5-10: PLL 特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
f_{VCO}	VCO 频率	—	400	—	600	MHz
f_{PFD}	鉴频鉴相器输入频率	—	4	—	8	MHz
t_{settle}	建立时间	—	—	—	15	us
I_{on}	工作电流	—	—	440	—	uA

5.10 13 位模数转换器特性

表 5-11: 模数转换器特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	模拟供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
N_R	分辨率	单调且无失码	—	13	—	bits
t_{sample}	采样时间	—	200	—	—	ns
$t_{convert}$	转换时间	—	250	—	—	ns
V_{in}	输入电压范围	—	0	—	V_{DVDD}	V
V_{FS}	满量程电压	—	—	3.339	—	V
V_{ref}	参考电压	—	1.194	1.2	1.206	V
I_{on}	工作电流	$V_{DVDD} = 3.3\text{ V}$	—	8	12	mA
INL	积分线性误差 ^[1]	—	-3.0	—	3.0	LSB
DNL	微分线性误差 ^[1]	—	-1.0	—	1.0	LSB
E_{offset}	偏移误差 ^[2]	$T_J = 25^\circ\text{C}$ 下 校准和测量	-2	—	2	LSB
E_{gain}	增益误差 ^[2]		-4	—	4	LSB
T_{coef}	基于内部参考的 ADC 温度系数	—	—	35	—	ppm/ $^\circ\text{C}$
$ENOB_{DC}$	有效位数（直流输入）	—	—	11.8	—	bits
SNR	信噪比	$f_{in} = 100\text{kHz}$ $V_{in} = 0.94F_S$ $N = 8192$	—	73.5	—	dBFS
THD	总谐波失真		—	-84	—	dBFS
ENOB	有效位数		—	11.5	—	bits
SFDR	无杂散动态范围		—	86	—	dBFS

[1] 由设计保证，不做量产测试。

[2] 偏移和增益可通过硬件自动校准。

5.11 可编程增益放大器特性

表 5-12：可编程增益放大器特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{in}	差分输入电压范围	—	-2.7/G	—	+2.7/G	V
V_{out}	输出电压范围	—	0.3	—	$V_{DD} - 0.3$	V
R_{in}	输入阻抗	—	—	4	—	k Ω
G	增益	差分模式	2/4/8/16/24/32/48/64			-
E_{gain}	增益误差	差分增益 = 2	-1.5	—	1.5	%
		差分增益 = 16	-1	—	1	%
		差分增益 = 64	-1	—	1	%
V_{offset}	偏移	差分增益 = 2	-3	—	9	mV
		差分增益 = 16	-2	—	4	mV
		差分增益 = 64	-2	—	4	mV
V_{CM}	共模输入电压范围	差分增益 = 2	-1.5	—	2	V
		差分增益 = 4	-0.9	—	2	V
		差分增益 = 8	-0.75	—	2	V
		差分增益 = 16	-0.6	—	2	V
		差分增益 = 24	-0.57	—	2	V
		差分增益 = 32	-0.55	—	2	V
		差分增益 = 48	-0.52	—	2	V
		差分增益 = 64	-0.5	—	2	V
t_{settle}	建立时间 ^[1]	差分增益 = 2	—	313.7	441.6	ns
		差分增益 = 4	—	303.1	425.5	ns
		差分增益 = 8	—	268.4	423.8	ns
		差分增益 = 16	—	376.7	604.7	ns
		差分增益 = 24	—	355.8	598.9	ns
		差分增益 = 32	—	442.9	742.3	ns
		差分增益 = 48	—	628.0	1061.0	ns
		差分增益 = 64	—	813.3	1378.0	ns
GBW	单位增益带宽 ^[2]	差分增益 = 2	6	9.68	—	MHz
		差分增益 = 4	3.8	6.07	—	MHz
		差分增益 = 8	2.56	3.45	—	MHz
		差分增益 = 16	1.37	1.85	—	MHz
		差分增益 = 24	1.23	1.63	—	MHz
		差分增益 = 32	0.93	1.23	—	MHz
		差分增益 = 48	0.63	0.83	—	MHz
		差分增益 = 64	0.4	0.63	—	MHz
SR	压摆率 ^[3]	差分增益 = 2	15	21	30	V/ μ s
		差分增益 = 4	15	21	30	V/ μ s
		差分增益 = 8	14.5	21	30	V/ μ s
		差分增益 = 16	11.2	18.9	29.7	V/ μ s

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
		差分增益 = 24	12.57	21	33.4	V/us
		差分增益 = 32	9.25	18.4	31.8	V/us
		差分增益 = 48	6.1	11.5	25	V/us
		差分增益 = 64	4.6	8.6	17.6	V/us
ENOB _{DC}	有效位数（直流输入）	差分增益 = 2	—	11.93	—	bits
		差分增益 = 16	—	11.57	—	bits
		差分增益 = 64	—	10.94	—	bits
SNR	信噪比 $f_{in} = 10\text{kHz}$	差分增益 = 2	—	72.2	—	dBFS
		差分增益 = 16	—	71.1	—	dBFS
		差分增益 = 64	—	64.8	—	dBFS
THD	总谐波失真 $f_{in} = 10\text{kHz}$	差分增益 = 2	—	79.59	—	dBFS
		差分增益 = 16	—	81.29	—	dBFS
		差分增益 = 64	—	78.47	—	dBFS
CMRR _{Dc}	共模抑制比（直流输入）	差分增益 = 2	—	-59.7	—	dBFS
		差分增益 = 16	—	-52.6	—	dBFS
		差分增益 = 64	—	-61	—	dBFS
PSRR _{DC}	电源抑制比（直流输入）	差分增益 = 2	—	-72.8	—	dBFS
		差分增益 = 16	—	-84.9	—	dBFS
		差分增益 = 64	—	-93.4	—	dBFS
I _{on}	电流消耗	差分增益 = 2	—	1.215	—	mA
		差分增益 = 16	—	1.096	—	mA
		差分增益 = 64	—	1.152	—	mA

- [1] 建立时间指阶跃输入到输出建立至 98%的时间。此时对应的差分输出从-2.7V 到 2.7V ($V_{DD} = 3.3\text{V}$)。该指标由设计保证。
- [2] GBW 数据由设计保证。
- [3] SR 数据是指输出信号从 10%建立至 90%的压摆率，由设计保证。

图 5-3：建立时间随增益的变化关系（DPGA）

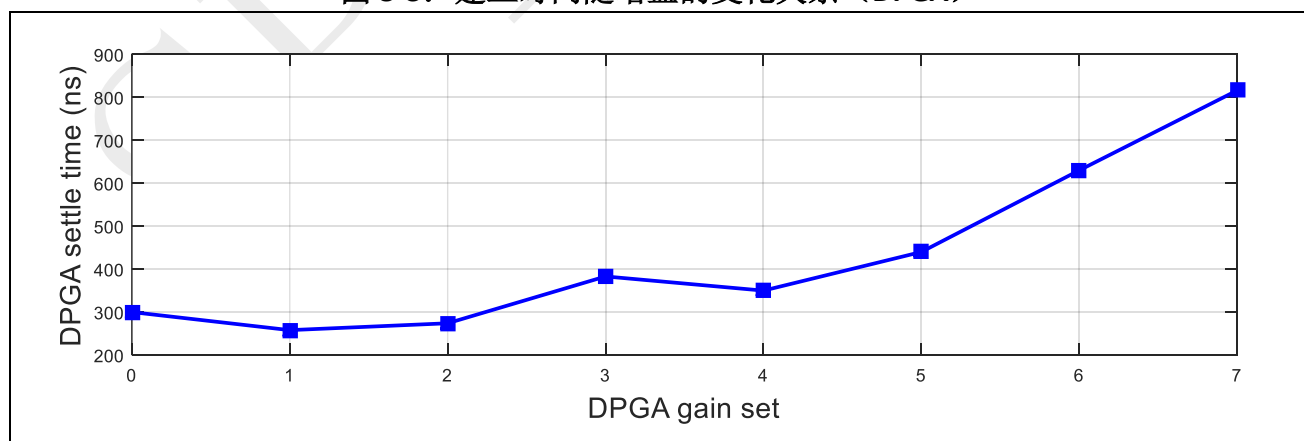


图 5-4: ENOBDC 随增益的变化关系 (DPGA)

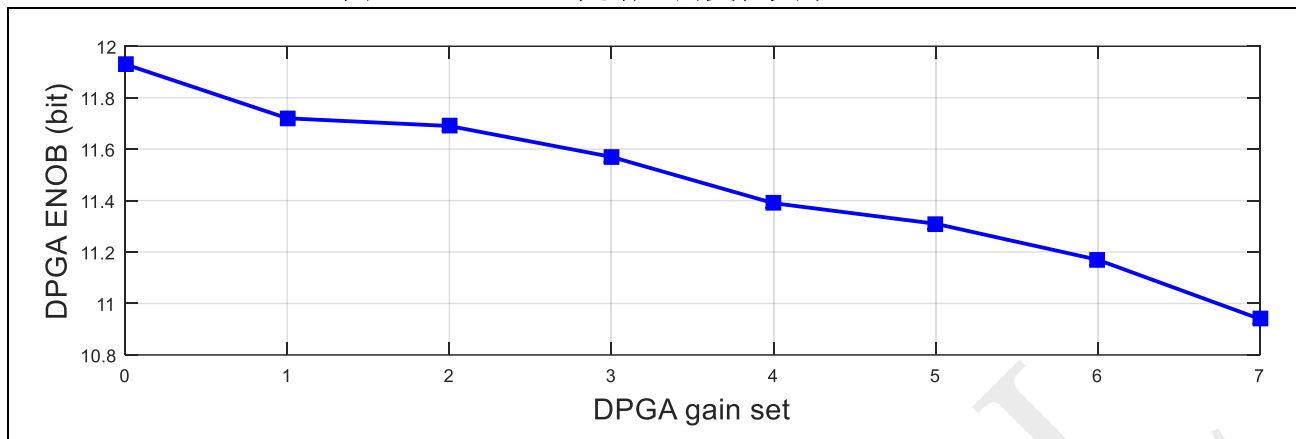


图 5-5: SNR 随增益的变化关系 (DPGA)

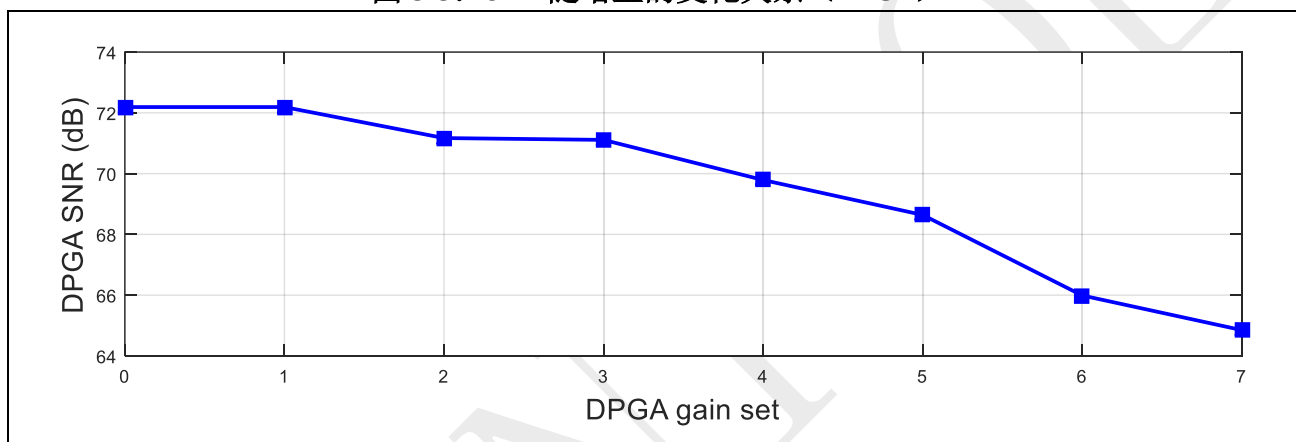


图 5-6: THD 随增益的变化关系 (DPGA)

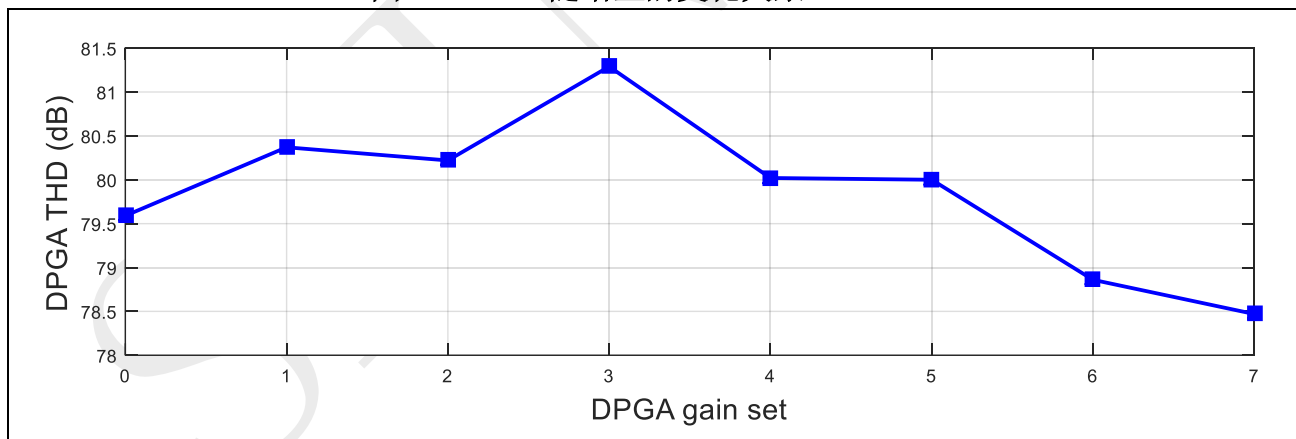
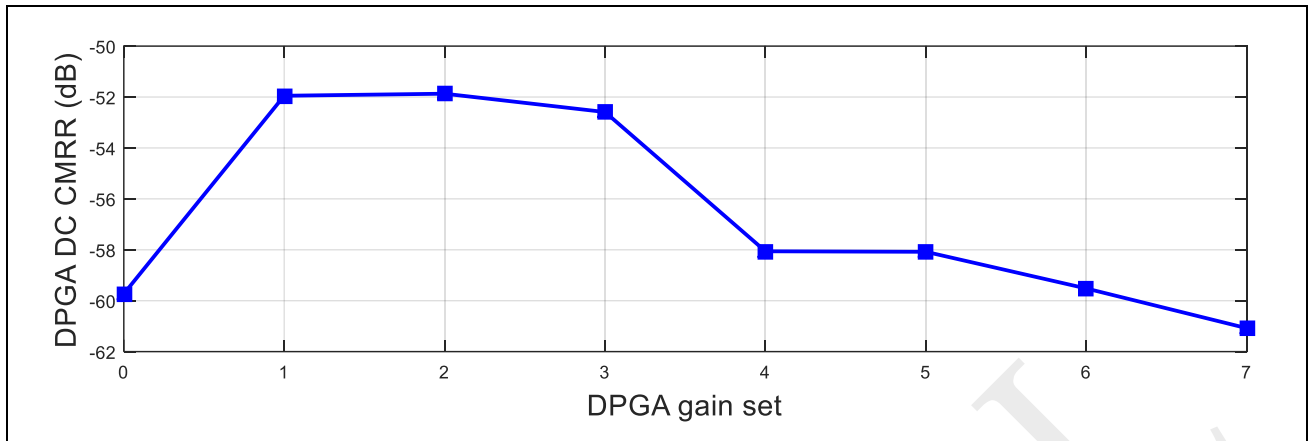
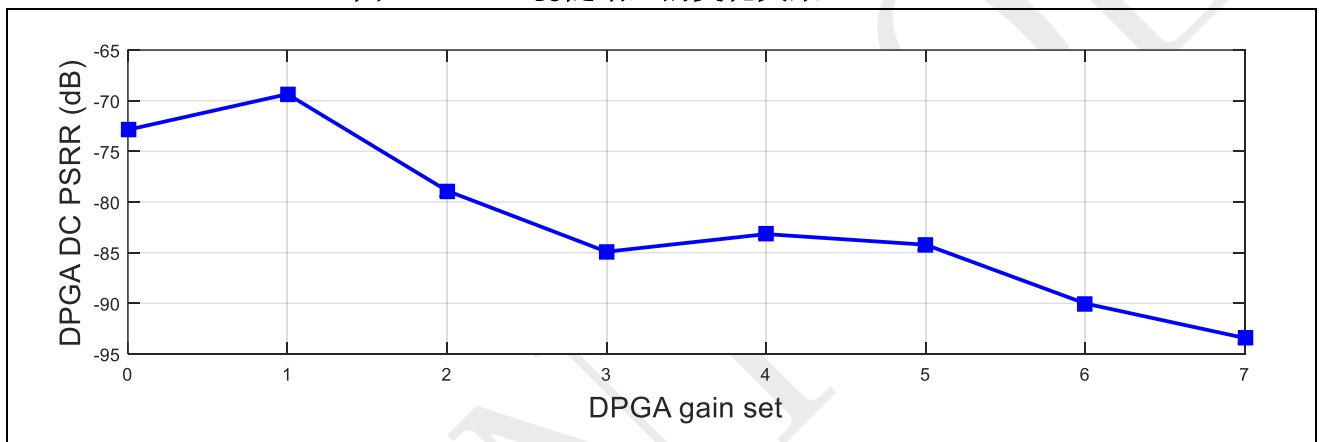


图 5-7: CMRR_{DC} 随增益的变化关系 (DPGA)图 5-8: PSRR_{DC} 随增益的变化关系 (DPGA)

5.12 D2S 缓冲器特性

表 5-13: D2S 缓冲器特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V _{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
V _{out}	输出电压范围	—	0.3	—	V _{DVDD} - 0.3	V
t _{settle}	建立时间 ^[1]	—	—	10	—	ms
E _{offset}	偏移误差	—	—	10	—	mV
E _{gain}	增益误差	—	—	1	—	%
C _L	容性负载	—	—	1	—	uF
I _{on}	电流消耗	—	—	1.14	—	mA

[1] 建立时间通过增加外部 RC 滤波电路来测量，典型值为：R = 1kΩ，C = 1uF。

5.13 温度传感器特性

表 5-14: 温度传感器 (Tsensor) 特性

符号	参数	条件	设计规格			单位
			最小	典型	最大	
V _{DVDD}	3.3V 电源电压	—	2.97	3.3	3.63	V
T _{slope}	分辨率	折合到满幅 3.339V 的 13 位 ADC	—	—	1.74	°C/LSB
E _T	温度误差	-40°C ~ +125°C	-12	—	12	°C
T _{stup}	启动时间	—	—	4.00	—	us
T _{acq}	捕获时间	—	—	0.62	—	us
I _{on}	工作电流	—	—	97.67	—	uA

5.14 模拟比较器特性

表 5-15: 比较器特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V _{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
V _{in}	输入电压范围	—	0	—	V _{DVDD}	V
V _{offset} ^[1]	失调电压 (迟滞电压档位 0)	V _{DVDD} = 3.3V, T _J = 25°C 1.65V 共模输入	-10	—	—	mV
V _{hyst}	迟滞电压档位 0		—	0	—	mV
	迟滞电压档位 1		—	13	—	mV
	迟滞电压档位 2		—	25	—	mV
	迟滞电压档位 3		—	37	—	mV
t _d	延迟时间 从比较器反应到 PWM 异步关断 (迟滞电压档位 0)		—	50	—	ns
I _{on}	工作电流	—	—	59.4	—	uA

[1] 由设计保证, 不做量产测试。

5.15 内部 10 位数模转换器特性

表 5-16: 数模转换器特性^[1]

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{DVDD}	供电电压	—	2.97	3.3	3.63	V
N	分辨率	单调	—	10	—	bit
V_{FS}	满量程值	—	0	—	V_{DVDD}	V
$DNL^{[2]}$	微分非线性误差	—	-0.5	—	0.5	LSB
$INL^{[2]}$	积分非线性误差	—	-1	—	1	LSB
$E_{offset}^{[2]}$	偏移误差	—	-10	—	10	mV
$t_{settle}^{[2]}$	DAC 建立时间	—	—	—	1	us
I_{on}	工作电流	—	—	96.3	—	uA

[1] DAC 产生静态电压作为比较器的阈值，不保证动态改变码值产生波形的性能。

[2] 由设计保证，不做量产测试。

5.16 Flash 存储器特性

表 5-17: Flash 存储器特性

符号	参数	条件	最小	最大	单位
t_{read}	读操作时间	—	48	—	ns
$t_{prog,enter}$	编程模式进入时间	—	24	—	us
$t_{preprog}$	字（32 位）预编程时间	—	2.5	3.5	us
$t_{preprog,exit}$	预编程模式退出时间	—	10	—	us
t_{prog}	字（32 位）编程时间	—	8	10	us
$t_{prog,exit}$	编程模式退出时间	—	5.1	—	us
t_{SE}	扇区擦除时间	—	3.2	4	ms
t_{BE}	块擦除时间	—	4	6	ms
t_{CE}	整体擦除时间	—	8	10	ms
N_{cycle}	可擦写次数	$T_J = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$	100,000	—	cycles
$t_{retention}$	数据保存期限	$T_J = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$	10	—	years

5.17 预驱特性

表 5-18: 预驱特性

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$V_{th0}(VDDGUV)$	VDDG 欠压解除阈值	—	—	9.6	—	V
$V_{th1}(VDDGUV)$	VDDG 欠压触发阈值	—	—	8.9	—	V
$V_{hyst}(VDDGUV)$	VDDG 欠压迟滞	—	—	0.7	—	V
$V_{th0}(VBSUV)$	上管电源轨 ($V_{BOOT} - V_{PX}$) 欠压解除阈值	—	—	9.6	—	V
$V_{th1}(VBSUV)$	上管电源轨 ($V_{BOOT} - V_{PX}$) 欠压触发阈值	—	—	8.9	—	V
$V_{hyst}(VBSUV)$	上管电源轨 ($V_{BOOT} - V_{PX}$) 欠压迟滞	—	—	0.7	—	V
$I_{leakage}(VBOOT)$	VBOOT 漏电流	$V_{VBOOT} = V_{VPX} = 600V$	—	1	—	uA
$I_{Q(HS)}$	上管电源轨静态电流	—	—	36	100	uA
t_{FILT_IN}	GPIO 输入信号滤波时间	—	—	250	—	ns
$t_{on}^{[1]}$	开通传输延迟	—	—	425	—	ns
$t_{off}^{[1]}$	关闭传输延迟	—	—	400	—	ns
$t_D^{[1]}$	死区时间	—	—	400	—	ns
$t_M^{[1]}$	6 个通道之间的开通/关闭 延迟失配	—	—	13	75	ns
$t_{MD}^{[1]}$	开通/关闭延迟失配 $\max(t_{on}, t_{off}) - \min(t_{on}, t_{off})$	—	—	13	75	ns

[1] 延迟和泄漏变化涵盖-40 ~ 150 °C 的温度范围。

5.18 电气敏感性特性

表 5-19: ESD 绝对最大值

符号	参数	条件	最大	单位
$V_{ESD(HBM)}$	静电放电电压 (人体模型)	环境温度 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	TBD	V
$V_{ESD(CDM)}$	静电放电电压 (带电设备模型)	环境温度 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	V
		拐角管脚	TBD	V

表 5-20: 电气敏感性

符号	参数	条件	最大	单位
LU	静态 闩锁	环境温度 $T_A = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{V_{CAP12}} = 1.42\text{V}$, $V_{D_{VDD}} = 3.63\text{V}$, $V_{V_{BOOT_W/U/V}} = 20\text{V}$, $V_{V_{DDG}} = 20\text{V}$	TBD	mA

5.19 湿度敏感性特性

表 5-21: 湿度敏感性特性

符号	参数	条件	等级	单位
MSL	湿度敏感性等级	—	3 级	—

5.20 热阻特性

表 5-22: 热阻特性 (HFBP39 封装)

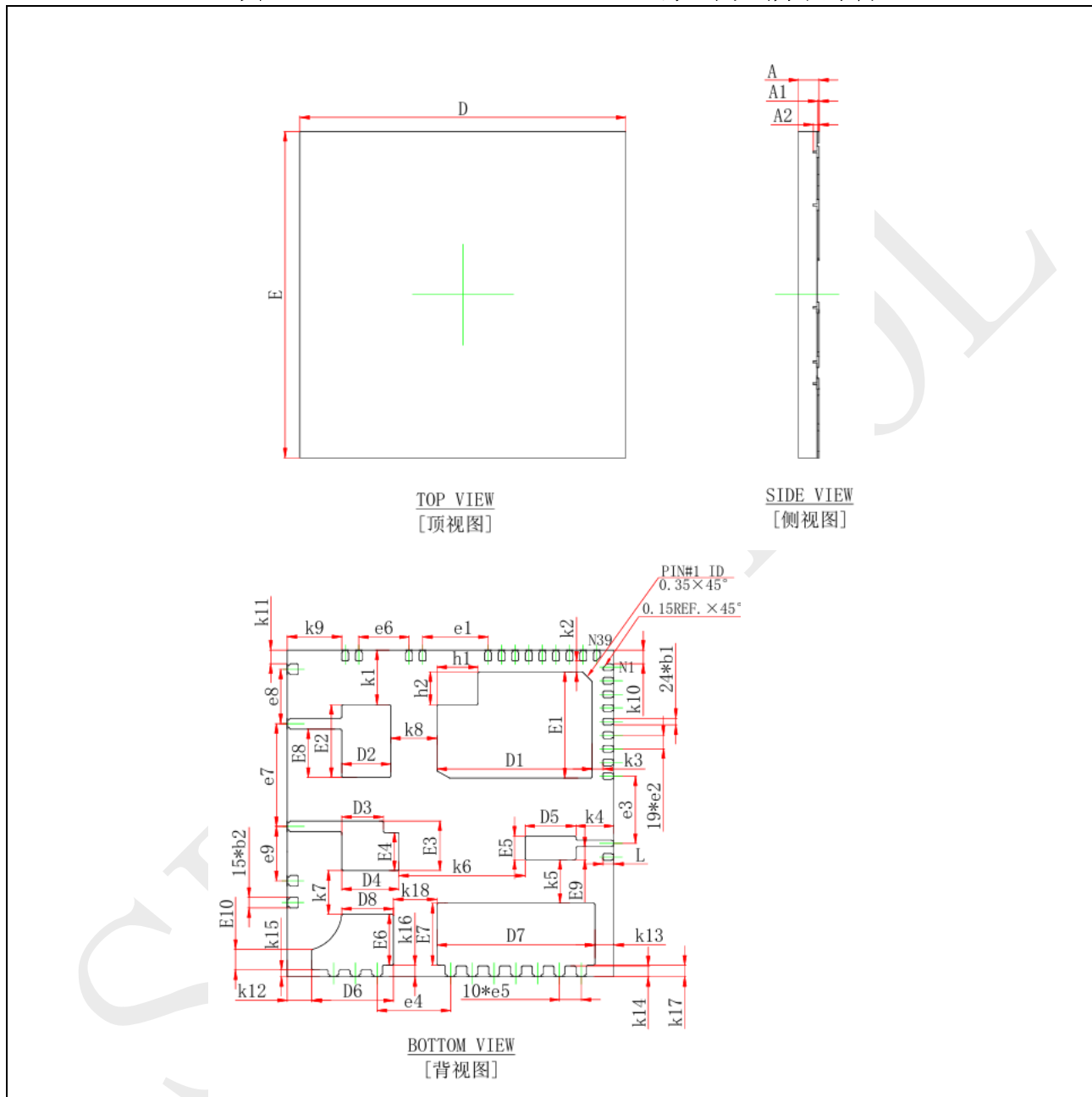
符号	参数	条件	典型值	单位
θ_{JC}	芯片的热源结到 封装外壳的热阻	—	TBD	$^{\circ}\text{C/W}$
θ_{JA}	芯片的热源结到 周围冷却空气的 热阻	单层 PCB 板 PCB 含铜量 20%	TBD	$^{\circ}\text{C/W}$
		4 层 PCB 板 PCB 含铜量 (顶层 20%, 二/三层 100%, 底层 5%)	TBD	$^{\circ}\text{C/W}$

[1] PCB 测试板的尺寸为 76.2mm x 114.3mm x 1.6mm。

6 封装信息

6.1 HFBP39

图 6-1: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装



[1] 图纸未按比例绘制。

表 6-1: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装机械数据

符号	尺寸 (mm)			尺寸 (in)		
	最小	典型值	最大	最小	典型值	最大
A	0.7	0.75	0.8	0.028	0.03	0.031
A1	0	—	0.05	0	—	0.002
A2	0.203 REF.			0.008 REF.		
D	12.000 BSC.			0.472 BSC.		
E	12.000 BSC.			0.472 BSC.		
b1	0.2	0.25	0.3	0.008	0.01	0.012
b2	0.35	0.4	0.45	0.014	0.016	0.018
D1	5.6	5.7	5.8	0.22	0.224	0.228
D2	1.7	1.8	1.9	0.067	0.071	0.075
D3	1.43	1.53	1.63	0.056	0.06	0.064
D4	2	2.1	2.2	0.079	0.083	0.087
D5	1.76	1.86	1.96	0.069	0.073	0.077
D6	2.9	3	3.1	0.114	0.118	0.122
D7	5.7	5.8	5.9	0.224	0.228	0.232
D8	1.900 REF.			0.075 REF.		
E1	3.8	3.9	4	0.15	0.154	0.157
E2	2.575	2.675	2.775	0.101	0.105	0.109
E3	1.725	1.825	1.925	0.068	0.072	0.076
E4	1.3	1.4	1.5	0.051	0.055	0.059
E5	0.77	0.87	0.97	0.03	0.034	0.038
E6	1.77	1.87	1.97	0.07	0.074	0.078
E7	2.17	2.27	2.37	0.085	0.089	0.093
E8	1.675	1.775	1.875	0.066	0.070	0.074
E9	0.375	0.475	0.575	0.015	0.019	0.023
E10	0.750 REF.			0.030 REF.		
e1	2.400 BSC.			0.094 BSC.		
e2	0.500 BSC.			0.020 BSC.		
e3	2.475 BSC.			0.974 BSC.		
e4	2.700 BSC.			0.106 BSC.		
e5	0.800 BSC.			0.031 BSC.		
e6	1.850 BSC.			0.728 BSC.		
e7	3.775 BSC.			0.149 BSC.		
e8	2.000 BSC.			0.079 BSC.		
e9	2.000 BSC.			0.079 BSC.		
L	0.35	0.4	0.45	0.014	0.016	0.018
k1	2.000 REF.			0.079 REF.		
k2	0.400 REF.			0.016 REF.		
k3	0.400 REF.			0.016 REF.		
k4	1.400 REF.			0.055 REF.		
k5	1.600 REF.			0.063 REF.		
k6	4.640 REF.			0.183 REF.		
k7	1.600 REF.			0.063 REF.		
k8	1.700 REF.			0.067 REF.		
k9	2.000 REF.			0.079 REF.		

符号	尺寸 (mm)			尺寸 (in)		
	最小	典型值	最大	最小	典型值	最大
k10	0.500 REF.			0.020 REF.		
k11	0.500 REF.			0.020 REF.		
k12	0.900 REF.			0.035 REF.		
k13	0.700 REF.			0.028 REF.		
k14	0.250 REF.			0.010 REF.		
k15	0.400 REF.			0.016 REF.		
k16	0.430 REF.			0.017 REF.		
k17	0.430 REF.			0.017 REF.		
k18	1.600 REF			0.063 REF		
h1	1.415	1.515	1.615	0.056	0.06	0.064
h2	1.1	1.2	1.3	0.043	0.047	0.051

图 6-2: HFBP39, 12 x 12 x 0.75 mm 薄型四边扁平封装建议尺寸

TBD

[1] 单位是毫米。

7 PCB 布局布线建议

- DVDD 作为降压 DCDC 的反馈节点，为确保控制环路稳定性，其走线需远离高压开关路径（如 SW）及噪声敏感元件（如电感）。
- SW 走线应遵循最小化原则：保持最短路径及最大允许宽度，以优化 EMI 性能。
- 为实现最低走线阻抗，以下 GND 引脚走线应尽可能加宽：
 - DVDD 电容器和 GND 引脚间的 GND 走线。
 - VDDG 旁路电容和 GND 引脚间的 GND 走线。
 - VCAP12A/B 旁路电容和 GND 引脚间的 GND 走线。
- 预驱布线要求：
 - 采用星形接地，消除共模干扰
 - VBOOT 电容和 VPX 引脚互连走线应尽可能宽和短，确保阻抗最小化。

8 订购信息

表 8-1: 订购信息

订购编码	Flash	SRAM	CPU 最大频率	封装	温度范围	SPQ ^[1]	包装类型
SPM1123API39	64KB	16KB	125MHz	HFBP39	工业级 -40℃ ~ +125℃	1680	托盘

[1] SPQ = Standard Pack Quantity, 标准包装数。

8.1 订购编码规则

图 8-1: 订购编码规则

