

## 引言

本文档描述了如何使用集成在STM32WB系列微控制器中的SMPS（开关模式电源）。它旨在供系统架构师以及HW和板级SW开发人员使用。

本文档中详述的专利实现与标准实现不同，因为它不仅能够维持RF收发器的全部性能，还能在突发应用中实现最佳功耗，如通常用于低功耗蓝牙<sup>®</sup>和IEEE 802.15.4协议的应用。

# 目录

<b>1</b>	<b>说明</b> .....	<b>4</b>
1.1	配电配置 .....	4
1.1.1	SMPS 配置 .....	5
1.1.2	LDO 配置 .....	5
1.1.3	外部元件 .....	5
1.2	SMPS 校准 .....	5
1.3	SMPS编程 .....	6
1.3.1	编程寄存器 .....	6
1.3.2	状态寄存器 .....	8
1.4	在退出低功耗模式时选择SMPS时钟 .....	9
<b>2</b>	<b>系统级的SMPS影响</b> .....	<b>10</b>
2.1	选择输出电压 .....	10
2.1.1	数值示例 .....	11
2.2	处于Stop1或Stop2模式时的启动时间 .....	11
2.3	STM32WB SMPS特性 .....	12
2.3.1	SMPS电压降低时的回滚电流 .....	12
2.3.2	上电时的浪涌电流 .....	13
2.3.3	VLXSMPS超过绝对最大额定值 .....	13
<b>3</b>	<b>结论</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>版本历史</b> .....	<b>15</b>

## 图片索引

图1.	供电配置 .....	4
图2.	对VFBSMPS的负载影响 .....	10
图3.	额外启动时间 (ILOAD = 10 mA) .....	12
图4.	上电时的典型浪涌电流 .....	13

# 1 说明

基于Arm<sup>®(a)</sup>内核的STM32WB系列微控制器嵌入了强大的SMPS，以便在电源电压足够高时提高电源效率。

为了不影响RF性能，此SMPS的开关频率与RF主时钟源HSE同步。SMPS的允许频率为4或8 MHz。请注意，在低功耗模式的RF启动阶段，将使用HSI来代替HSE，以实现更快的唤醒时间（而不必在启动SMPS和数字逻辑之前等待HSE稳定）。

降压SMPS添加了两个特定功能，这些功能与STM32WB微控制器支持的所有低功耗模式有关：

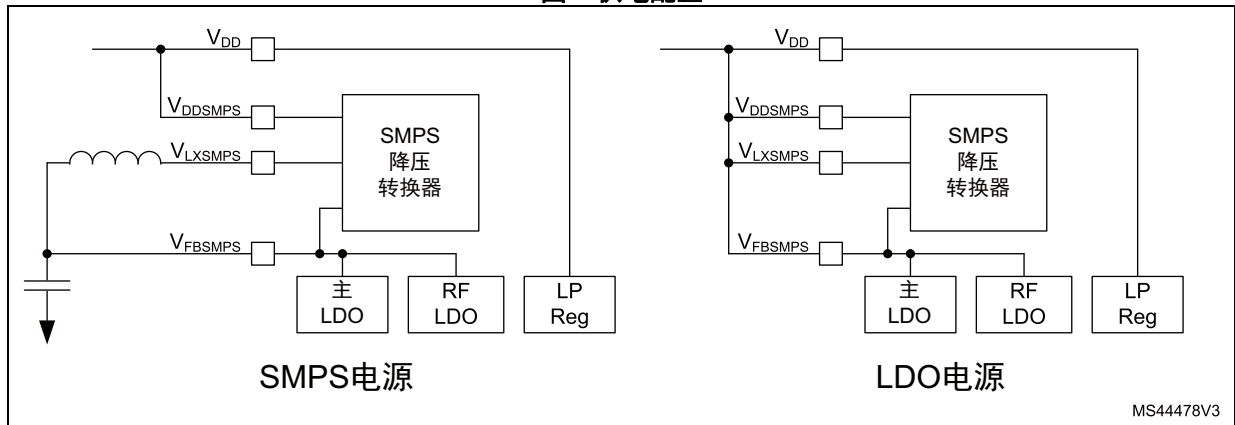
- 旁路模式：旁路SMPS的功能（电流继续流过其线圈）， $V_{DDSMPS}$ 电压直接连接到 $V_{LXSMPS}$ 。如果 $V_{DD}$ 电压降低到给定电平（ $V_{BORH}$ ）以下，额外的硬件机制允许SMPS自动切换到旁路模式，以确保即使在非常低的工作电压下也能平稳运行。
- 开路模式，在该模式中，SMPS输出（ $V_{LXSMPS}$ ）不连接任何电路，并保持SMPS大电容的负荷。这样就可以通过对大电容预充电来加快唤醒时间。

在进入和退出STM32WB低功耗模式时，内部状态机自动管理这些状态。

## 1.1 配电配置

根据全局应用、目标功耗和成本，可使用两种布线配置。

图1. 供电配置



a. Arm是Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地区的注册商标。



### 1.1.1 SMPS 配置

在此配置中，SMPS可用于为MCU提供内部电源。

无法使用SMPS输出 ( $V_{FBSMPS}$ ) 来为任何外部电路供电，因为电压和电流容量受内部STM32WB状态影响。例如，SMPS标称电压取决于RF Tx电平，而电流能力则取决于STM32WB低功耗状态（开路模式）。

*注：* 通过在旁路模式下将电感替换为 $0\ \Omega$ ，这种PCB配置也可以在没有电感的情况下使用，这与LDO配置类似。在这种情况下不得使能SMPS。

### 1.1.2 LDO 配置

该配置不使用SMPS，必须将 $V_{DDSMPS}$ 、 $V_{LXSMPS}$ 和 $V_{FBSMPS}$ 连接到 $V_{DD}$ 。

当 $V_{DD}$ 较低时（低于2.0V），或如果功耗不是主要问题，但PCB尺寸和外部元件成本为主要问题，则应选择该配置。

本节不适用于该配置。不得修改所有SMPS寄存器的默认复位值。

### 1.1.3 外部元件

为正常操作，SMPS需要两个电感和两个电容，其值取决于目标性能，以及机械设计中允许的PCB面积和总高度。

为获得最佳功耗性能，应选择4 MHz，这将搭配一颗与4.7  $\mu\text{F}$ 的大电容有关的10  $\mu\text{H}$ 电感。

对于较小的尺寸，尤其是选用非常小封装尺寸的电感器件，可选择8 MHz，从而可以使用与4.7 $\mu\text{F}$ 大电容相关的2.2 $\mu\text{H}$ 电感。

必须使用另一个4.7  $\mu\text{F}$ 电容来对 $V_{DDSMPS}$ 电源进行去耦。

所有这些组件在高频下必须具有尽可能低的ESR值和良好的性能。

对于所有封装，建议增加一个10 nH的电感，并将其与10或2.2  $\mu\text{H}$ 的电感串联。这用来过滤可能降低接收器性能的RF谐波。

*注：*  $V_{DDSMPS}$ 必须连接到 $V_{DD}$ ，电压上升和下降必须满足数据手册中所述的条件下。

## 1.2 SMPS 校准

在生产中使用1.50 V的参考电压对SMPS电压进行校准。两个闪存位置包含选择SMPS输出电压时要使用的值。

- $SMPS\_coarse\_engi\_trim$ （FLASH地址0x1FFF7559的最后4位）包含与1.5 V参考点对应的数字（通常在4和10之间）。该值通过硬件自动应用于SMPS，但可以通过写入PWR\_CR5.SMPSVOS位来覆盖。
- $SMPS\_fine\_engi\_trim$ （FLASH地址0x1FFF7549处的字节）通过硬件自动应用于SMPS。

## 1.3 SMPS编程

### 1.3.1 编程寄存器

允许用户可以使能SMPS、选择时钟频率（8或4 MHz）、输出电压和最大电流能力的一组寄存器。当V<sub>DD</sub>电压降至给定电平（V<sub>BORH</sub>）以下时，该寄存器也可以使能自动回退到旁路模式。

#### PWR\_CR5.SMPSEN（读/写）

使能SMPS降压转换器。要使能SMPS，必须将该位置1。

- 0：禁用SMPS降压转换器SMPS模式。
- 1：使能SMPS降压转换器SMPS模式。

如果由于V<sub>DD</sub>电压下降到低于BORH阈值（假设PWR\_CR5.BORHC=1），SMPS自动切换到待机模式，该位将复位为0。

默认值：0（退出待机模式时，该位不复位）。

#### PWR\_CR5.SMPSVOS[3..0]（读/写）

SMPS降压转换器电压输出设置。参见第 2.1 节，以选择适当的SMPS输出电压。

SMPS降压转换器输出电压通过以下公式计算

$$V_{FBSMPS} = 1.5 \text{ V} + (\text{SMPSVOS} - \text{SMPS\_coarse\_engi\_trim}) \times 50 \text{ mV}$$

从而得到：

$$\text{SMPSVOS} = (V_{FBSMPS} - 1.5 \text{ V}) / 50 \text{ mV} + \text{SMPS\_coarse\_engi\_trim}$$

启动时通过与调节电压（1.5 V）对应的工厂编程值来初始化这些位，随后可通过覆盖它们进行更新。

#### PWR\_CR5.SMPSSC[2..0]（读/写）

SMPS降压转换器最大输出电流选择。当应用电源无法提供默认的最大电流时，可更改该值。

最大SMPS输出电流被限制为80 mA + SMPSSC x 20 mA。

默认值：7（最大220 mA）：退出待机模式时，该位不复位。

请注意，电流限制为近似值（±30%）。

电流限制不仅会影响从低功耗模式唤醒时的峰值电流，而且会影响SMPS效率。在限制值一半处开始能够测量到SMPS效率的降低。电流限制值最高时SMPS的效率最高，但唤醒时的峰值电流也最高。

电流限制也会影响唤醒时间，如第 2.2 节中所述。

**PWR\_CR3.EBORHSMPSFB (读/写)**

当BORH强制SMPS进入旁路模式时，使能CPU1中断。

- 0：禁用CPU1的BORHF和SMPSFBF中断。
- 1：使能CPU1的BORHF和SMPSFBF中断。

默认值：0（退出待机模式时，该位不复位）。

CPU1需要使用PVD或ADC来管理V<sub>DD</sub>上升，以便从旁路模式切换回SMPS模式。

**PWR\_CR5.BORHC (读/写)**

BORH配置选择。

- 0：BORH将产生系统复位。
- 1：BORH将强制SMPS降压转换器进入旁路模式。请注意，如果V<sub>DD</sub>继续下降，BORL仍将产生系统复位。

默认值：0（退出待机模式时，该位不复位）。

*注：* 为正常操作，必须将BORH电平编程到相应的选项字节（0x1FFF8000.BORLEV[2..0]>000）中。如果使能BORH功能，则在所有低功耗模式下都会增加约1.1 μA的额外功耗。

**RCC\_SMPSCR.SMPSEL[1..0] (读/写)**

SMPS降压转换器时钟选择。由软件置1，用于选择SMPS降压转换器的时钟源（SMPSCCLK）。

- 00：选择HSI作为SMPS降压转换器时钟。
- 01：选择MSI作为SMPS降压转换器时钟（应将MSITRANGE设为支持的值，即16、24、32或48 MHz之一）。
- 10：选择HSE作为SMPS降压转换器时钟。
- 11：保留。

---

**警告：** 在进入低功耗模式（Stop1、Stop2、待机或关断）前，SMPSEL应置1，以选择与时钟配置寄存器（RCC\_CFGR）的SW中的系统时钟相同的时钟源。

---

*注：* 由于RF可能强制SMPS使用HSE时钟，因此在任何给定时间，必须在RCC\_SMPSCR.SMPSSWS[1..0]中读取正在使用的实际SMPS时钟。推荐选择为HSI和HSE。

**RCC\_SMPSCR.SMPDIV[1..0] (读/写)**

SMPS降压转换器时钟预分频器。由软件置1，用于控制SMPS降压转换器时钟的分频系数。

- 00：SMPS时钟为8 MHz，仅对HSI、HSE和MSI（16、32或48 MHz）有效。
- 01：SMPS时钟为4 MHz，仅对HSI、HSE和MSI（16、24、32或48 MHz）有效。
- 1x：预留。

### PWR\_SCR.CSMPSFBF (只写)

将CPU1的SMPS降压转换器强制旁路中断标志清零（通过使PWR\_CR3.EBORHSMPSFB = 1来使能）。将该位置1会清零PWR\_SR1中的SMPSFBF标志。此位始终读为0。

## 1.3.2 状态寄存器

### PWR\_SR2.SMPSF (只读)

SMPS降压转换器SMPS模式就绪状态。该位表示SMPS降压转换器处于SMPS调节模式。该位可用于检查SMPS是否已完成从旁路模式到运行模式的转换，以及是否达到PWR\_CR5.SMPSVOS[3..0]中所述的目标输出电压。

- 0: SMPS降压转换器未就绪。
- 1: SMPS降压转换器就绪。

### PWR\_SR1.SMPSFBF (只读)

当SMPS降压转换器在SMPS模式下使能并由于BORH阈值强制进入旁路模式时，该位被置1。该位可用于检测中断事件是否已发生，必须使用PWR\_SRR.CSMPSFBF清除该位。

- 0: SMPS降压转换器未处于旁路模式（处于开路或SMPS模式）。
- 1: 由于自动旁路模式选择且V<sub>DD</sub>电压已降至低于BORH值，SMPS降压转换器被强制置于旁路模式。

默认值: 0（退出待机模式时，该位不复位）。

### PWR\_SR2.SMPSBF (只读)

SMPS降压转换器旁路模式状态。该位表示SMPS降压转换器处于旁路模式。

- 0: SMPS降压转换器未处于旁路模式（处于开路或SMPS模式）。
- 1: SMPS降压转换器处于旁路模式。

### RCC\_SMPSCR.SMPSSWS[1..0] (只读)

SMPS降压转换器的时钟开关状态。通过硬件置1和清零，以指示使能SMPS时，当前将哪个时钟源作为SMPS降压转换器时钟。当HSE激活时，无论SMPSSSEL中的设置如何，都会使用HSE。当在PWR\_CR5.SMPSEN中禁用SMPS降压转换器时，不会使用时钟。

- 00: HSI振荡器用作SMPS降压转换器时钟
- 01: MSI振荡器用作SMPS降压转换器时钟
- 10: HSE用作SMPS降压转换器时钟
- 11: 未使用时钟

复位值: 3（无时钟）。



## 1.4 在退出低功耗模式时选择SMPS时钟

在POR或NRST引脚复位时或从关断状态唤醒时，硬件强制SMPSEL选择MSI（值b01）。从待机状态唤醒时，硬件强制SMPSEL选择HSI（值b00）。从停止模式唤醒时，硬件强制SMPSEL选择RCC\_CFGR.STOPWUCK中定义的MSI或HSI时钟。

## 2 系统级的SMPS影响

### 2.1 选择输出电压

应用需要根据不同的参数设置SMPS电压：

- 数字部件正常运行的最低电压要求
- 正常发射的最低电压要求，无失真，所需的最大RF发射信号
- 为 $V_{\text{FBSMPS}}$ 负载电流消耗留出的余量
- 为SMPS产品微调精度留出的余量。

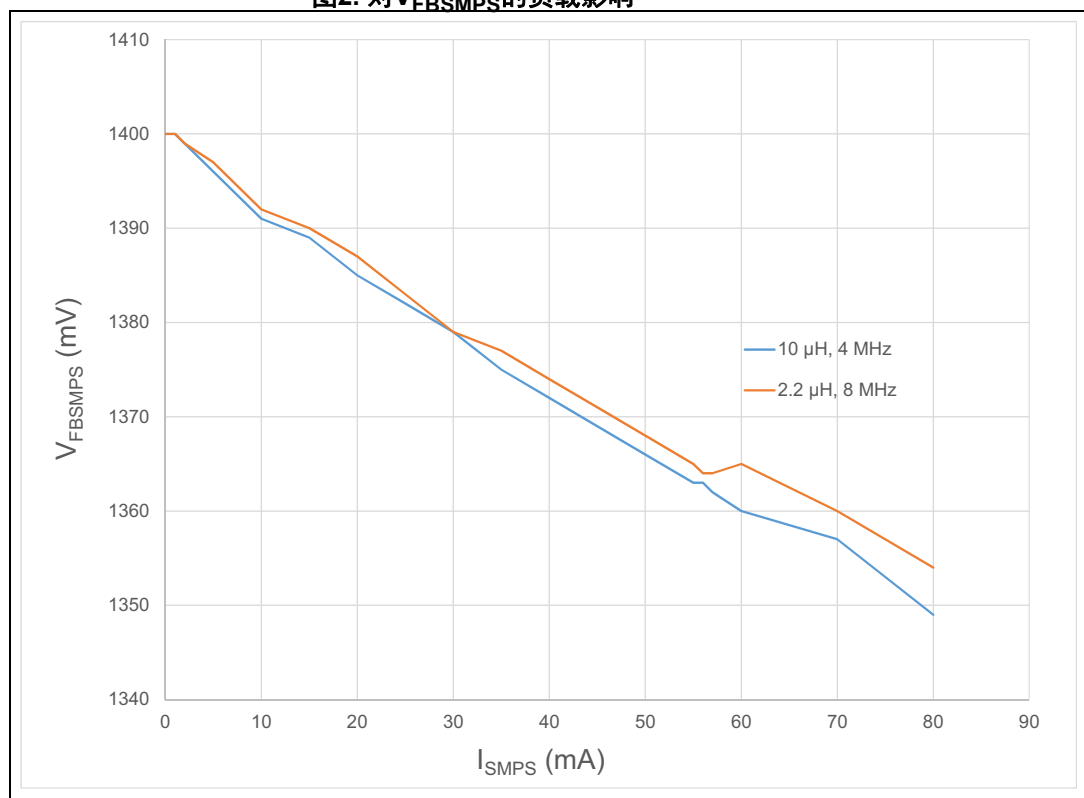
为正常运行，STM32WB微控制器的数字部分需要 $V_{\text{FBSMPS}}$ 绝不会降至1.4 V以下。

对于RF部分，必须根据所需的TX信号将 $V_{\text{FBSMPS}}$ 至少设置为以下电压：

- $\geq 1.40 \text{ V}$  (TX代码 $\leq 29$ )
- $\geq 1.55 \text{ V}$  (TX代码30)
- $\geq 1.70 \text{ V}$  (TX代码31) (最大功率)

SMPS具有负载调节能力，其中 $V_{\text{FBSMPS}}$ 取决于STM32WB所消耗的 $I_{\text{FBSMPS}}$  电流。请注意，最大SMPS输出电流能力总共为80mA。图 2显示了对SMPS输出电压的负载影响的测量。

图2. 对 $V_{\text{FBSMPS}}$ 的负载影响



注:  $V_{FBSMPS}$  负载影响取决于线圈选择, 可能在高温 ( $>85^{\circ}\text{C}$ ) 下大大降低。  
最后, SMPS微调以 $\pm 10\text{ mV}$ 的精度执行。

### 2.1.1 数值示例

如果我们所设计产品的最大TX电平为+0 dBm (Tx代码 = 25) 且数字电路的最大电流为30 mA, 则我们必须将 $V_{FBSMPS}$ 设置为高于 $1.4\text{ V} + 21\text{ mV}$  (负载影响) +  $10\text{ mV}$  (微调精度), 即 $V_{FBSMPS} > 1.431\text{ V}$ , 从而得到 $1.450\text{ V}$  ( $V_{FBSMPS} = 1.45$ 将用于第 1.3.1 节中定义的公式)。

如果我们所设计产品的最大TX电平为+6 dBm (Tx代码 = 31) 且数字电路的最大电流为50 mA, 则我们必须将 $V_{FBSMPS}$ 设置为高于 $1.7\text{ V} + 34\text{ mV}$  (负载影响) +  $10\text{ mV}$  (微调精度), 即 $V_{FBSMPS} > 1.744\text{ V}$ , 从而得到 $1.750\text{ V}$  ( $V_{FBSMPS} = 1.75$ 将用于第 1.3.1 节中定义的公式)。

## 2.2 处于Stop1或Stop2模式时的启动时间

SMPS在进入Stop1或Stop2模式时会自动停止。

为节省电力, 其输出电容在Stop1 / Stop2模式下保持充电。由于存在各种泄漏电流 (电容、PCB、STM32WB输入), 电容充电量会逐渐变化, 所以系统唤醒时的电压也不同。为确保芯片的数字部分正常运行, 在重新启动CPU之前, 电容电压必须至少达到 $1.4\text{ V}$ 。通过一种特殊机制来确保该电压足够高时释放CPU。

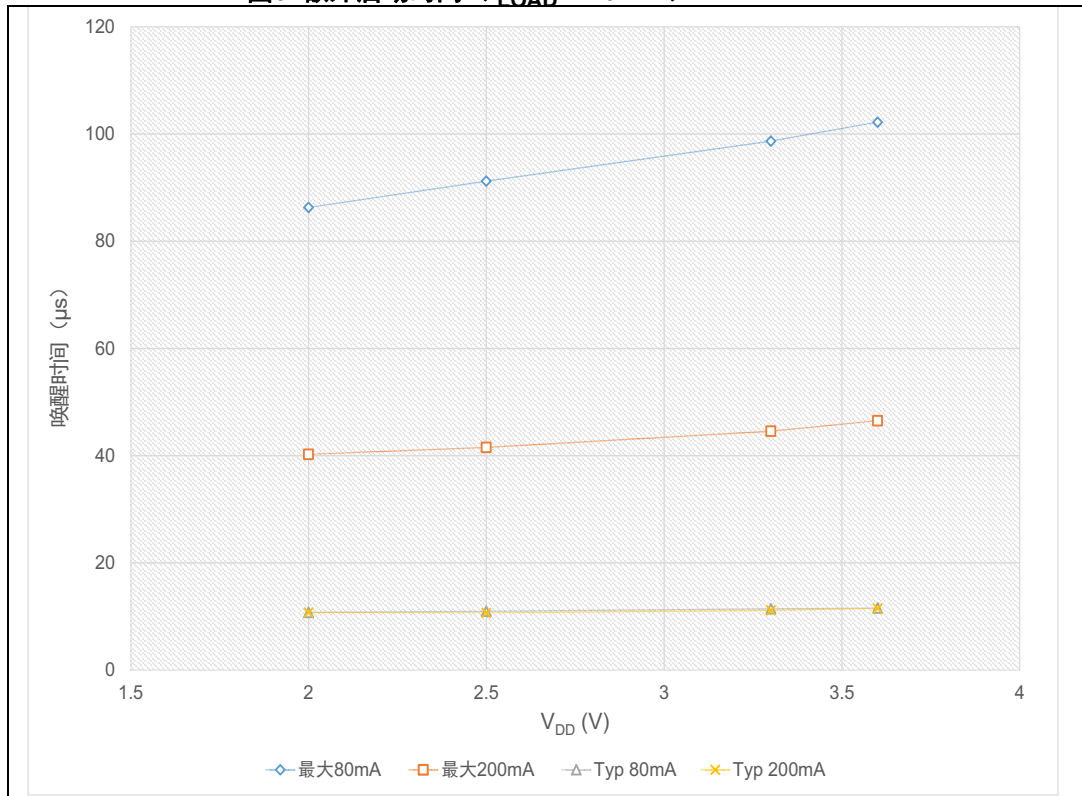
从Stop1 / Stop2重新启动时, STM32WB MCU仅在 $V_{FBSMPS}$ 达到 $1.4\text{ V}$  (或更高) 时启动SMPS (及其时钟系统), 并释放CPU。

此机制可以在唤醒源和实际CPU启动之间添加延迟。

测量显示了添加到正常Stop1 / Stop2唤醒时间的额外延迟, 并考虑到两种极端情况:

- 典型: Stop1 / Stop2持续时间足够短 (在该测量中, Stop2在环境温度下的持续时间为 $10\text{ }\mu\text{s}$ ), 以考虑SMPS大容量电容的电压没有显著变化。
- 最大: Stop1 / Stop2持续时间较长 (在该测量中, Stop2的持续时间为 $100\text{ ms}$ , 并通过模拟泄漏的电阻使大容量电容强制放电至 $0\text{ V}$ )。

图3. 额外启动时间 ( $I_{LOAD} = 10\text{ mA}$ )



这些测量显示了最大输出电流选择 (PWR\_CR5.SMPSSC) 的影响, 以及限制4.7 μF大电容重载的电流 (80和200 mA)。

## 2.3 STM32WB SMPS特性

### 2.3.1 SMPS电压降低时的回滚电流

当SMPS正在操作时, 如果其输出电压降低, SMPS不会消耗储存在大容量电容中的电荷, 而是让该电荷回滚到V<sub>DDSMPS</sub>中。该电荷的一部分被连接到V<sub>DDSMPS</sub>和V<sub>DD</sub>的去耦电容以及电源的阻抗吸收。

这种情况出现在V<sub>FBSMPS</sub>每次降低时, 例如:

- 从旁路模式切换到SMPS模式 (从V<sub>FBSMPS</sub> = V<sub>DD</sub>转换到1.4 V)
- 从Tx = +6 dBm (V<sub>FBSMPS</sub> = 1.7 V)切换到Tx = 0 dBm (V<sub>FBSMPS</sub> = 1.4 V)。

在电源 (或应用的其余部分) 无法吸收该额外电流的系统上, V<sub>DD</sub> 会增加。该增加与大电容和去耦电容之间的比率成正比, 限制它的最简单方式是增加去耦电容。

### 2.3.2 上电时的浪涌电流

由于SMPS在上电时以旁路模式启动，因此需要在 $V_{DD}$ 上升时为大容量电容供电。在启动时，当 $V_{DD}$ 电压进入0.7到1 V的范围时，SMPS PMOS开始导通， $V_{FBDSMPS}$ 跟随 $V_{DSSMPS}$ 。如果电源足够强，这会导致可能高达1.1 A的临时浪涌电流。

图4. 上电时的典型浪涌电流



### 2.3.3 $V_{LXSMPS}$ 超过绝对最大额定值

在正常操作中， $V_{LXSMPS}$  暂时超过 $V_{DD}$ ，并可能低于 $V_{SS}$ 。

在每个SMPS周期中（8或4 MHz），当NMOS和PMOS开关均断开时，会出现这种情况，因为电感电流流经体效应二极管流向 $V_{DSSMPS}$ 和 $V_{SSSMPS}$ 。

在ST资格认证流程中考虑到了这一效应，这不会影响产品寿命以及质量和可靠性。

### 3 结论

本应用笔记介绍了STM32WB系列MCU内置开关模式电源（SMPS）的主要功能和特性。该电路模块优化了基于低功耗蓝牙®和IEEE 802.15.4协议的应用中的RF收发器性能和功耗。

## 4 版本历史

表1. 文档版本历史

日期	版本	变更
2018年11月28日	1	初始版本。
2019年2月15日	2	文档分类由限于ST公司变为公开发布。 更新了。 <a href="#">第 1.1.3节: 外部元件</a>

表2. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2021年7月13日	1	初始版本。

**重要通知 - 请仔细阅读**

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。若需 ST 商标的更多信息，请参考 [www.st.com/trademarks](http://www.st.com/trademarks)。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2021 STMicroelectronics - 保留所有权利