

引言

STM32MP151、STM32MP153和STM32MP157产品线（在本文档中称为STM32MP15x）基于配备单核或双核且结合Arm® Cortex®-M4的Arm® Cortex®-A7。它们通常由STPMIC1电源管理IC辅助芯片供电，该芯片功能齐全，可提供完整的应用。

该应用笔记描述了一个为带分立调节器的STM32MP15xMPU供电的替代解决方案。仅涵盖支持核心芯片组的应用程序（STM32MP15x + DDR + 闪存）。

本应用笔记适用于需要以下详细信息的硬件产品设计师和架构师：

- 详细原理框图
- 低功耗模式和复位管理（故障恢复）
- 用于为STM32MP15x电源轨供电的稳压器模块（VRM）电气规范。

目录

1	概述	6
1.1	参考文档	7
2	词汇表	8
3	分立电源拓扑	9
3.1	STM32MP15x带有DDR3L和3.3 V I/O电压接口	9
3.1.1	输入电压	11
3.1.2	LDO或SMPS的调节器拓扑建议	11
3.2	STM32MP15x带有DDR3L和1.8 V I/O电压接口	16
3.2.1	输入电压	17
3.2.2	LDO或SMPS的调节器拓扑建议	17
3.3	低功耗模式和故障恢复管理	19
3.3.1	故障恢复管理电路（可选）	20
4	上电时序管理	21
4.1	上电 / 下电时序和复位管理	21
4.2	低功耗模式管理	24
4.2.1	LP-Stop模式	24
4.2.2	待机模式	26
4.3	故障恢复管理	29
5	STM32MP15xD和STM32MP15xF增强型CPU频率供应管理	31
5.1	故障恢复管理和特定系统工作模式	33
5.2	上电 / 下电时序和复位管理	34
5.3	低功耗模式管理	34
5.3.1	LP-Stop模式	34
5.3.2	待机模式	35
6	稳压器模块（VRM）规范	36
6.1	VDD（VDD_ANA、VDD_PLL、VDD_DSI）的VRM规范电源域	36
6.2	VDDCORE电源域的VRM规范	37
6.2.1	面向STM32MP15xD和STM32MP15xF器件的VDDCORE电源域的VRM规范	37

6.3	VDDQ_DDR电源域VRM规范	38
7	稳压器模块示例	40
7.1	5 V DC~3.3 V DC - 300 mA应用的VRM示例	40
7.2	5 V DC~1.215 V DC - 1500 mA应用的VRM示例	40
7.3	5V DC~可扩展1.34 V / 1.2 V DC - 1500 mA应用的VRM示例	41
7.3.1	Vout (R1、R2、R3、R4) 计算实例	42
7.4	5V DC~1.35 V DC - 1000 mA应用的VRM示例	42
7.5	5V DC~3.3 V DC - 2000 mA应用的VRM示例	44
8	版本历史	45

表格索引

表1.	参考文档	7
表2.	词汇表	8
表3.	系统工作模式	19
表4.	系统工作模式	33
表5.	VDD电源域的VRM规范	36
表6.	VDDCORE电源域的VRM规范	37
表7.	通过电压缩放实现800 MHz支持的VDDCORE电源域的VRM规范	38
表8.	VDDQ_DDR和DDR3L IC电源域的VRM规范	38
表9.	5 V~3.3 V - 300 mA应用的VRM示例	40
表10.	5 V~1.215 V - 1500 mA应用的VRM示例	40
表11.	1.34V / 1.2 V的VRM真值表	42
表12.	5 V~1.35 V - 1000 mA应用的VRM示例	43
表13.	5 V~3.3V - 2000 mA应用的VRM示例	44
表14.	文档版本历史	45
表15.	中文文档版本历史	45

图片目录

图1.	分立电源拓扑示例, IO位于3.3 V和DDR3L处	10
图2.	VDD3V3_USBHS/FS电源配集成电源开关	14
图3.	VDD3V3_USBHS/FS电源配分立电源开关	14
图4.	分立电源拓扑示例, IO位于1.8 V和DDR3L处	16
图5.	来自VDD_PERIPH的VDD3V3_USBHS/FS电源	18
图6.	PWR_ONRST故障恢复管理信号	20
图7.	上电 / 下电时序和复位管理图	21
图8.	LP-Stop模式顺序	24
图9.	待机模式顺序	26
图10.	故障恢复顺序	29
图11.	分立电源拓扑示例, IO位于3.3 V, DDR3L和VDDCORE电压缩放	32
图12.	LP-Stop模式顺序	35
图13.	稳压器模块周边回路示例	36
图14.	5 V~3.3 V - 300 mA应用的VRM详情	40
图15.	5 V~1.215 V/1500 mA应用的VRM详情	40
图16.	5 V~可扩展1.34 V / 1.2 V - 1500 mA应用的VRM详情	41
图17.	5 V~1.35 V - 1000 mA应用的VRM详情	42
图18.	5 V~3.3 V - 2000 mA应用的VRM详情	44

1 概述

本应用笔记适用于所有具有较大功能集和严格电源要求的STM32MP15x器件。

本文档主要讲述核心芯片组的供电（STM32MP15x + DDR + 闪存），并作如下假设：

- 5 V DC输入电源应用
- DDR3L x32位总线宽度+总线终端电阻
- 通用闪存由3.3 V电源供电。

本文档中提供的稳压器电气规范仅适用于严格遵循STM32MP15x去耦方案（参见AN5031[1]）和布局建议的情况。

本应用笔记中提供的功耗数值只是举例说明，不应用作参考。如需了解关于功耗的信息，请参阅AN5284 [7]和相关产品数据手册。

本应用笔记中提供的STM32MP15x电气和定时数据只是举例说明，不应用作参考。请参阅相关STM32MP15x产品数据手册。

IpDDR2和IpDDR3内存不在该应用笔记的范围内。据推测，它们不由功率分离调节器供电，原因如下：

- IpDDR2/3内存有严格的上电和掉电时序约束（参考JEDEC规范），因为太过复杂，难以通过分立调节器电路实现
- 与使用电源管理IC（如STPMIC1）相比，使用分立调节器进行低功耗管理更复杂（参见DS12505 [5]）。

STM32MP15x产品是基于Arm^{®(a)} Cortex[®]的器件。



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 参考文档

表1. 参考文档⁽¹⁾

参考	文档ID	标题
[1]	AN5031	STM32MP1系列硬件开发入门
[2]	AN5109	STM32MP1系列使用低功耗模式
[3]	AN5089	STM32MP1系列和STPMIC1硬件和软件集成
[4]	RM0436	STM32MP157参考手册 ⁽²⁾
[5]	DS12505	STM32MP157C数据手册 ⁽³⁾
[6]	AN5122	STM32MP1系列DDR存储器路由指南
[7]	AN5284	STM32MP1系列系统功耗
[8]	AN5438	STM32MP1系列寿命估计

1. 这些文档可从www.st.com获得。
2. 本参考手册仅供参考，但本应用笔记适用于所有STM32MP15x器件。
3. 本数据手册仅供参考，但本应用笔记适用于所有STM32MP15x器件。

2 词汇表


表2. 词汇表

术语	意义
FSBL	第一阶段启动程序
HSI	高速内部振荡器
LDO	低压降。本文档中的线性稳压器。
MPU	微处理器单元。指本文档中的STM32MP15x器件
POR	上电复位
RC	离散阻容网络
RCC	STM32MP15x复位和时钟控制
RMS	均方根
SMPS	开关模式电源
VRM	稳压器模块。在本文档中，VRM是降压SMPS或LDO。



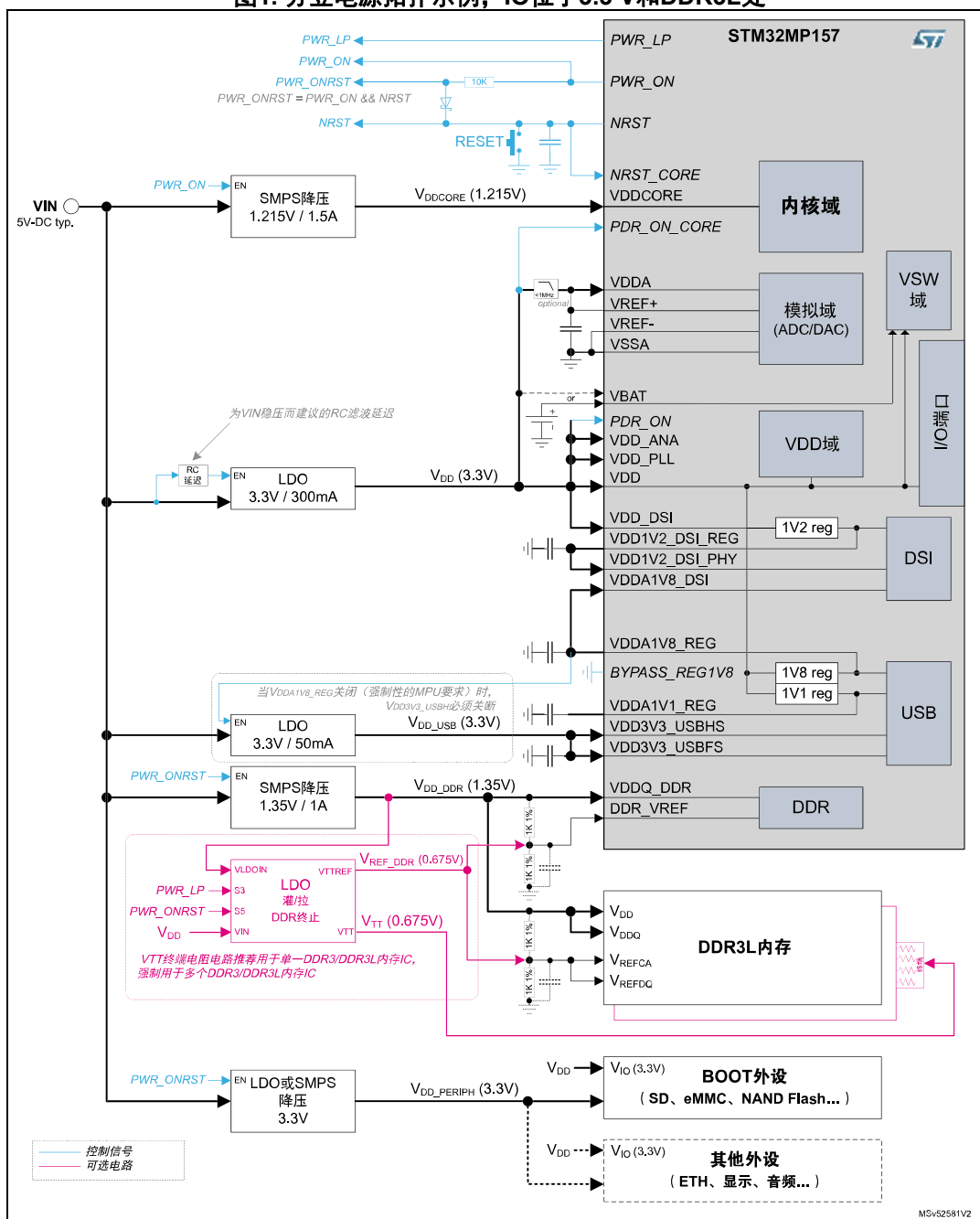
3 分立电源拓扑

3.1 STM32MP15x带有DDR3L和3.3 V I/O电压接口

 图 1展示了一个由STM32MP15x、DDR3L易失性内存和通用闪存（启动外设）组成的基本应用。在该应用中，子系统外设（以太网Phy、RGB LCD、音频等）没有显示，但可以假设其I/O接口工作电压为3.3V（VDD）。该应用由线性和开关电源降压转换器供电。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图1. 分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V和DDR3L处



注:

MPU去耦方案没有显示（参见AN5031 [1]）

没有显示SMPS和LDO稳压器产品部件号、以及分立元件，但第 3.1.2 节：LDO或SMPS的调节器拓扑建议详细介绍了其电气规范。

没有显示VIN上的附加保护，如ESD、EMI滤波和过电压。

3.1.1 输入电压

该应用示例是由一个5 V（典型）直流电压源（VIN）供电，电压范围为4.0到5.5 V。它只使用以下DC-DC降压转换器：

- 线性稳压器（LDO）
- 非隔离降压SMPS

或者，该应用可以由更高的输入电压（比如12V）供电。在这种情况下，使用与正确输入电压匹配且额定值适当的分立稳压器。对于高于12V的输入电压（典型的工业应用），推荐使用预调节拓扑。例如，使用24 V-5 V DC-DC降压SMPS进行预调节以生成VIN，然后使用该示例中定义的拓扑。建议进行预调节，避免降压SMPS在占空比极低（出现相关问题）的情况下工作。

最小VIN电压应高于应用中使用的最高电压。在该应用中，该应用所需的最高电压是3.3 V（供应V_{DD}和V_{DD PERIPH}）。如果考虑的是理想调节器（无压降）和理想电源，最小VIN可以是3.3 V。在实际情况，3.3 V稳压器的合理压降为400 mV（在满载情况下工作），再加上VIN路径上的300 mV压降（包括直流和交流压降+裕量），需要的最低VIN电压大约为4 V。

由具有最低最大额定输入电压的VIN供电的调节器限制最高VIN电压。在该应用中，该电压假设为5.5 V。

3.1.2 LDO或SMPS的调节器拓扑建议

选择LDO或SMPS调节器拓扑是在简单集成与高效性能之间进行权衡的结果：

- LDO：易于集成、噪音低，但功率效率（热熔性）低
- SMPS：功率效率高（热熔性比LDO低）；集成难度高，噪声比LDO（开关动作）高。

对于由直流电源供电的应用（通常是由AC-DC墙上适配器供电），功率效率没有电池应用那么重要。然而，热熔性仍然是一个重要标准，应尽可能减少。尤其当应用程序运行最耗电的用例时，或者当其使用12V（而不是5V）VIN电源时。

相反，处于待机模式的应用程序应具备低静止电流，以使稳压器保持‘打开’，还应具备低泄漏电流，以使稳压器‘关闭’。

应相应地选择稳压器拓扑。

VDD电源域

对于VDD电源域，LDO拓扑是在权衡功率损失、电压噪声、以及成本之后的最佳选择：

- VDD / VIN电压比是0.66 (3.3 V / 5 V)。LDO功率效率约为66%，准常数。
- 平均电流消耗很低，即使复杂的用例也是如此。它通常低于最坏情况下的平均电流100 mA（假定50mA），从来没有超过200mA（假设在非常坏的情况下峰值为300mA，留有一些余量）。
- 停止和待机模式下的电流消耗非常低，分别约为1 mA和10 μ A（参见DS12505 [5]了解有关详情及条件）

在LDO拓扑中，功率效率为：大约66%（约等于VDD / VIN比率）；使用SMPS降压转换器时，约为90%。采用LDO时的功率损耗为85 mW，采用SMPS转换器时的功率损耗为18 mW（假设电流消耗为50mA）。对于这两种情况，相比其他应用电源域，热容性可以忽略不计。

在停止模式下，LDO和降压SMPS的功率损耗是相等的，因为在轻负载情况下，普通降压转换器的功率效率会降低。

在待机模式下，SMPS的功率损耗要比LDO高。SMPS的静态电流通常比LDO高，而且LDO没有开关损耗。

VDDA和VREF电源域

VDDA引脚为ADC/DAC和参考电压缓冲器（VREFBUF）供电，以便为ADC/DAC生成 V_{REF+} 参考电压。

ADC和DAC的性能不仅受 V_{REF+} 电源噪声电平的影响，还受到VDDA电源噪声电平的影响（由于VDDA电源抑制比）。

如果VDDA由VDD电源供电，根据需要的ADC/DAC性能，可以在VDD电源和VDDA之间插入一个带低直流阻抗的低通滤波器。

如果期望有限的ADC / DAC性能， V_{REF+} 应仅连接到VDD电源。

VDDCORE电源域

对于VDDCORE电源域，为了功率效率，建议使用降压SMPS拓扑，因为这是应用中电流消耗最高的域之一。

对于VDDCORE，由于VDDCORE和VIN之间的比率约为0.24 (1.215V/5V)，所以不建议使用LDO拓扑。对于LDO，功率效率可以低至24%，这意味着LDO转换器消耗的能量远远大于MPU本身消耗的能量。

VDD_DDR和VTT电源域

对于V_{DD_DDR}电源域，建议使用降压SMPS拓扑，原因与VDDCORE相同。

如果应用需要终端电阻在DDR3 / DDR3L地址/命令总线上，应有一个专用的灌/拉 LDO为VTT供电，电压为V_{DD_DDR}/2。这样的稳压器通常集成一个VREF_DDR转换器，允许从设计中删除电阻分压器（1 kΩ / 1 kΩ）。

VDD_USB电源域

VDD3V3_USBHS和VDD3V3_USBFS是MPU的USB PHY电源引脚。它们应由3.07 V-3.6 V的电压供电。VDD3V3_USBHS和VDD3V3_USBFS的电流消耗都小于30 mA（为了允许一定余量，假设为50 mA）。

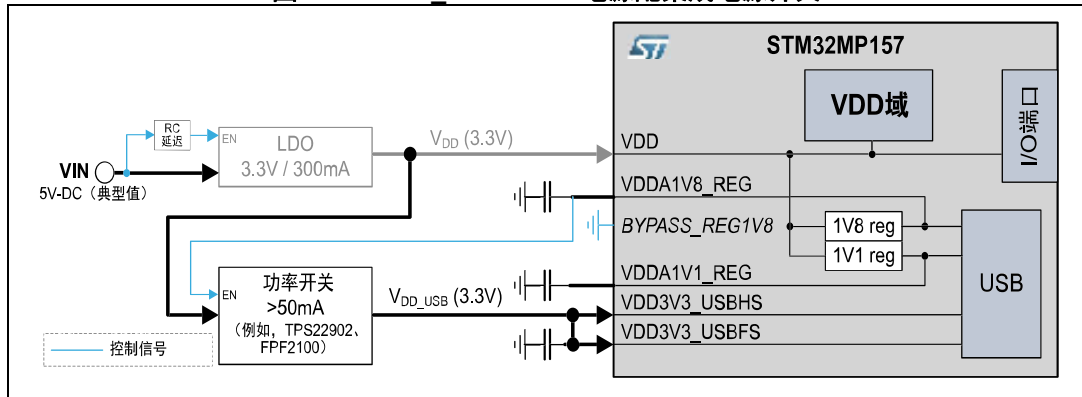
当VDDA1V8_REG不存在时，VDD3V3_USBHS不得存在，不然会使MPU永久损坏（参见DS12505[5]获取详细信息）。VDD3V3_USBHS不能直接连接到VDD，因为VDD总是出现在VDDA1V8_REG之前。

为了适应该约束，应由VDDA1V8_REG启用VDD3V3_USBHS。VDD_USB是在启用VDD1V8_REG时启用的，因此默认情况下，其在上电时、以及使用DSI或USB时启用。可以有不同的电源选项：

- 专用LDO（推荐），参见图 1
- 集成式电源开关 / 负载开关，参见图 2
- 分立电源开关，参见图 3。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图2. VDD3V3_USBHS/FS电源配集成电源开关



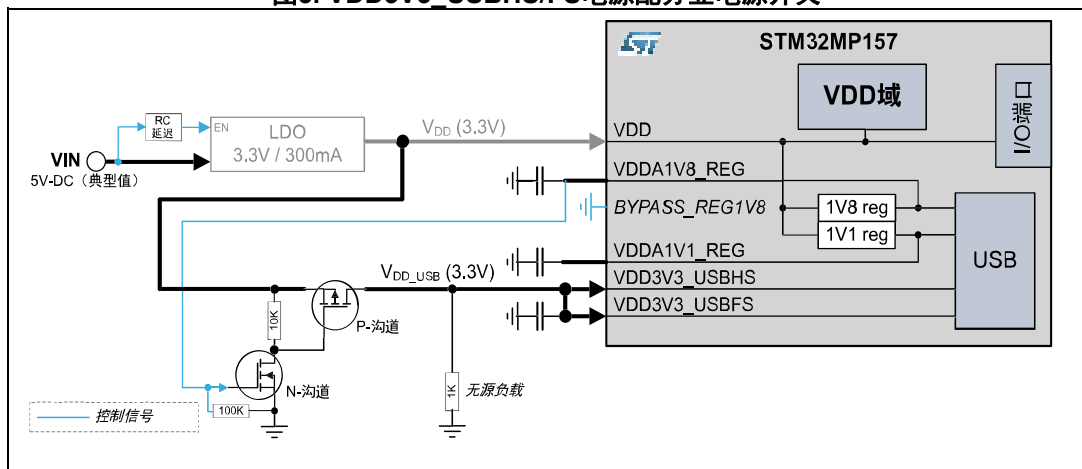
电源开关（负载开关）的主要电气标准有：

- 导通电阻应足够低，以确保VDD_USB永远不会低于3.07 V。如果VDD有+/-5%的容差，通常低于700 mΩ：

$$R_{on} < ((3.3\text{ V} - 5\%) - 3.07\text{ V}) / 50\text{ mA} = 0.7\text{ }\Omega$$
- EN_V_{IH}最小阈值（高电平激活）应低于1.7 V（最小VDDA1V8_REG），以确保电源开关在任何情况下都能接通。
- 当电源开关被禁用时，建议使用集成输出放电电阻器为VDD_USB去耦电容器放电。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图3. VDD3V3_USBHS/FS电源配分立电源开关



该分立电源开关由一个P-沟道功率MOSFET和一个N-沟道MOSFET组成。P-沟道MOSFET作为电源开关，将电流从VDD吸取到VDD_USB，提供给VDD3V3_USBHS/FS。P-沟道栅极由N-沟道MOSFET驱动，它作为漏极开路用于反转P-沟道的极性。N-沟道栅极由VDDA1V8_REG电压驱动。增加了1 kΩ无源负载为VDD3V3_USBHS/FS上的去耦电容器放电，在启用VDD_USB后，持续消耗3.3 mA电流。

分立电源开关主要电气特性：

- P沟道MOSFET：
 - V_{DSS} 和 $V_{GSS} > -3.3\text{ V}$
 - I_D 最小：-50 mA
 - I_D 峰值 \gg -50 mA（为VDD3V3_USBHS/FS去耦电容器充电时的峰值电流）
 - $V_{GS} = -3.3\text{ V}$ 时， $R_{DS}(\text{导通}) < 0.7\ \Omega$
- N沟道MOSFET：
 - $V_{DSS} > 3.3\text{ V}$
 - $V_{GSS} > 1.8\text{ V}$
 - I_D 最小：10 mA
 - $V_{GS} = 1.8\text{ V}$ 时， $R_{DS}(\text{导通}) < 100\ \Omega$

VDD_PERIPH电源域

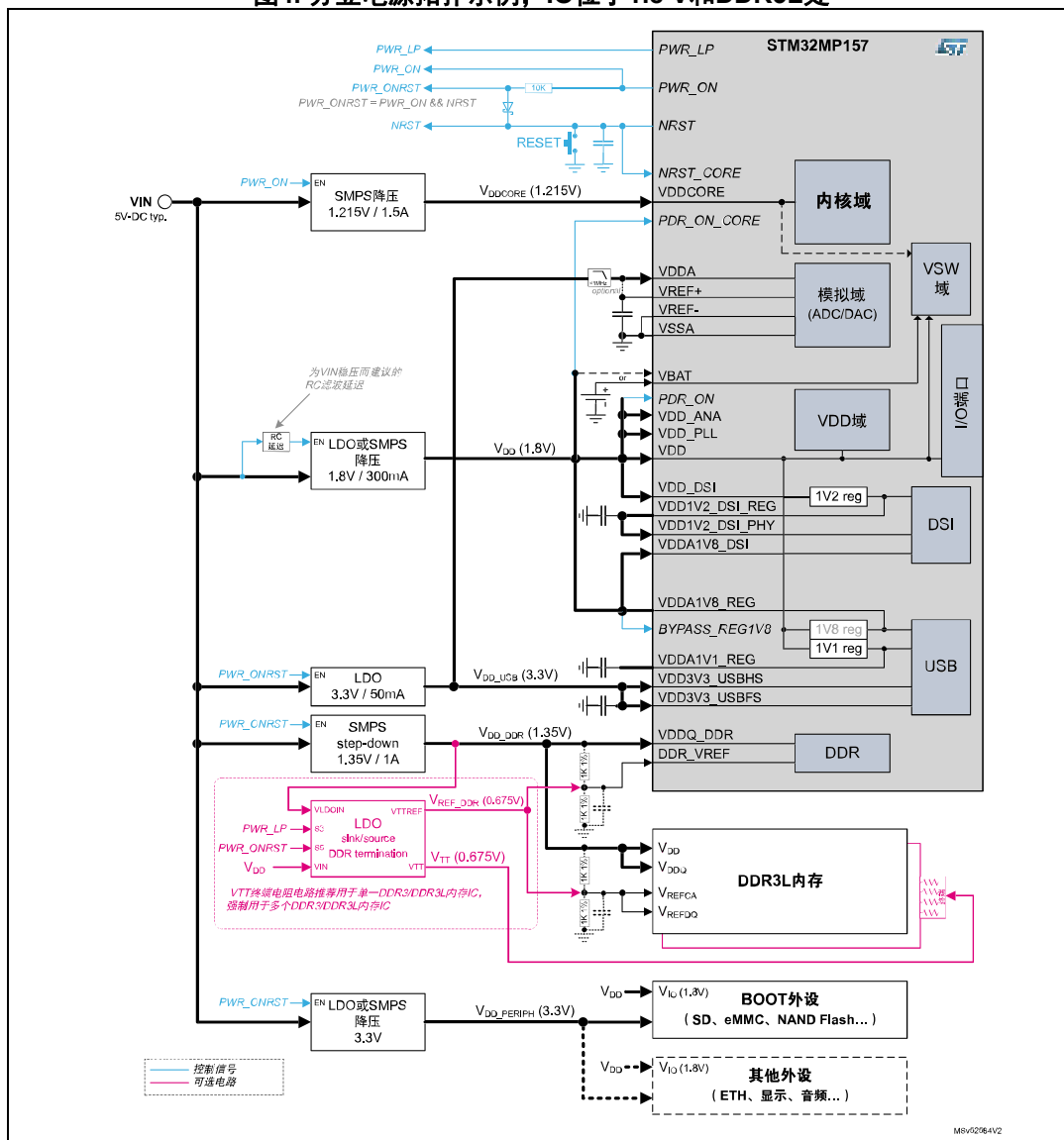
对于VDD_PERIPH功率域，电压和稳压器拓扑取决于最终应用。在图 1中所示的应用中，假设所有外设都可以由3.3 V电压源供电。

3.2 STM32MP15x带有DDR3L和1.8 V I/O电压接口

图 4显示的应用与图 1相同，除了I/O接口电压从3.3 V变为1.8 V。没有显示子系统外设（以太网、LCD、音频等），但可假设其I/O接口的工作电压为1.8 V（ V_{DD} ），或使用电平转换器。该应用由线性 and 开关电源降压转换器供电。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图4. 分立电源拓扑示例，IO位于1.8 V和DDR3L处



注：MPU去耦方案没有显示（参见AN5031 [1]）

没有显示SMPS和LDO稳压器产品部件号，以及分立元件，但第 3.2.2节：LDO或SMPS的调节器拓扑建议详细介绍了其电气规范。

没有显示VIN上的附加保护，如ESD、EMI滤波和过电压。

3.2.1 输入电压

请参见 [第 3.1.1 节：输入电压](#)。

3.2.2 LDO或SMPS的调节器拓扑建议

本节类似于 [第 3.1.2 节：LDO或SMPS的调节器拓扑建议](#)，不同之处在于：

VDD电源域

对于VDD电源域，为了功率效率，建议使用降压SMPS拓扑。然而，因为该电源域上的低电流消耗，LDO拓扑也可以接受。

- VDD / VIN电压比是0.36 (1.8 V / 5 V)。LDO功率效率约为36%，准常数。
- 平均电流消耗很低，即使复杂的用例也是如此。最坏情况下，平均电流通常低于100 mA (假定50 mA)，从来没有超过200 mA (非常坏的情况下峰值为300 mA，留有一些余量)。
- 停止和待机模式下的电流消耗非常低，分别约为1 mA和10 μ A (参见DS12505了解有关详情及条件)

采用LDO拓扑时，功率效率约为36% (约等于VDD / VIN比率)；使用SMPS降压转换器时，约为90%。采用LDO时的功率损耗为160 mW，采用SMPS转换器时的功率损耗为18 mW (假设电流消耗为50 mA)。如果60 mW的损耗可以接受，那么就可以使用LDO，具体取决于应用的散热能力。

VDD_USB电源域

VDD3V3_USBHS和VDD3V3_USBFS是MPU的USB PHY电源引脚。它们应由3.07 V-3.6 V的电压供电。VDD3V3_USBHS和VDD3V3_USBFS的电流消耗都小于30 mA (为了允许一定余量，假设为50 mA)。

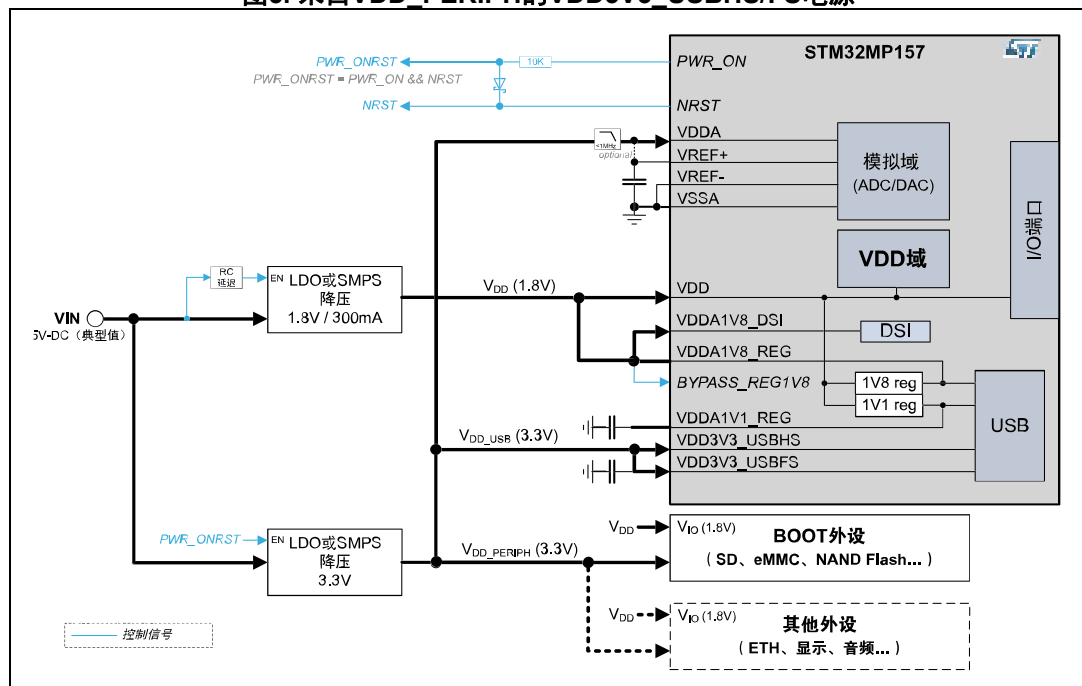
当VDDA1V8_REG不存在时，VDD3V3_USBHS不得存在，不然会使MPU永久损坏 (参见DS12505 [\[5\]](#))。

为了适应这些约束，VDD3V3_USBHS应与PWR_ON或PWR_ONRST信号同步，因为VDD3V3连接到VDDA1V8_REG，并在应用中首先上升 (参见[图 4](#))。有两个电源选项：

- 专用LDO (推荐)，参见[图 4](#)
- 重用为外设供电 (VDD_PERIPH) 的稳压器，参见[图 5](#)。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图5. 来自VDD_PERIPH的VDD3V3_USBHS/FS电源



V_{DD_PERIPH}电源可用于为VDD3V3_USBHS和VDD3V3_USBLS供电，但需满足以下条件：

- V_{DD_PERIPH}电压应在VDD3V3_USBHS/LS电压公差（3.07 V至3.6 V）范围内
- 除非VDD（VDDA1V8_REG）存在，否则V_{DD_PERIPH}（VDD3V3_USBHS）不得存在。

如果V_{DD_PERIPH}稳压器具有相同的电压并且通过PWR_ONRST进行控制（如图5中所示），则满足两个约束条件。

VDDA和VREF电源域

VDDA引脚为ADC / DAC和参考电压缓冲器（VREFBUF）供电，以生成ADC/DAC V_{REF+}参考电压。

ADC和DAC的性能不仅受V_{REF+}电源噪声电平的影响，还受到VDDA电源噪声电平的影响（由于VDDA电源抑制比）。

如果应用中使用的ADC/DAC的参考电压V_{REF+}高于2 V，则可以使用V_{DD_PERIPH}电源为VDDA供电。根据需要的ADC/DAC性能，可以在VDD电源和VDDA之间插入一个带低直流阻抗的低通滤波器。

如果能够接受有限的ADC / DAC性能，VREF+可以连接到V_{DD_PERIPH}电源。

3.3 低功耗模式和故障恢复管理

STM32MP15x器件支持多种工作模式以降低功耗（参见AN5109：“STM32MP1系列使用低功耗模式”获取详细信息）。

两个MPU输出引脚PWR_ON和PWR_LP可根据工作模式自动控制。它们用于控制应用稳压器：

- PWR_ON：电源请求信号（高电平激活）。启用VDDCORE和应用外设电源。它在运行、停止、以及Low-Power-Stop模式下是活跃的。它在待机模式下不活跃（当VDD不存在时，在VBAT和关机模式下为隐式）。
- PWR_LP：低功耗模式请求信号（低电平激活）。用于请求稳压器或外设进入低功耗状态。在LP_Stop和待机模式下，它是活跃的。它在运行和停止模式下不活跃。

注：有了分立稳压器应用，LPCFG（PWR_CR1寄存器中的PWR_ON引脚配置）应始终设置为0。
表 3总结了图 1中阐述的应用工作模式的供电状态。

表3. 系统工作模式

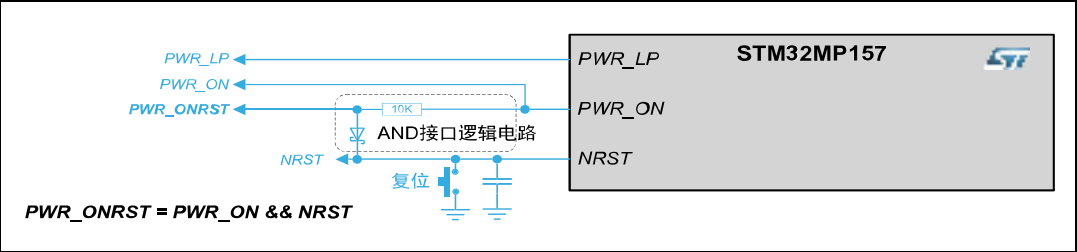
电源模式	NRST / NRST_CORE	VDD	PWR_ON / VDDCORE	PWR_ONRST / VDD_DDR VDD_PERIPH	PWR_LP / VTT
运行	1	启动	1 / 启动	1 / 启动	1 / 启动
停止	1	启动	1 / 启动	1 / 启动	1 / 启动
LP-Stop	1	启动	1 / 启动	1 / 启动	0 / 关闭
待机	1	启动	0 / 关闭	0 / 关闭	0 / 关闭
VBAT或断电	-	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）
崩溃 （watchdog超时）	0 （脉冲）	启动	1 / 启动	0 / 关闭	1 / VTT关闭

3.3.1 故障恢复管理电路（可选）

PWR_ONRST是专门用于管理应用级崩溃恢复的附加信号。如图 6 中所示，PWR_ONRST信号由PWR_ON和NRST通过离散逻辑AND电路生成。

下面给出了STM32MP157器件的示例。适用于所有STM32MP15x器件。

图6. PWR_ONRST故障恢复管理信号



AND逻辑电路由一个10 kΩ电阻和一个二极管组成。建议使用肖特基二极管，如BAT54或BAT60。10 kΩ电阻的阻值可以根据稳压器使能（EN）引脚的综合阻抗进行调整；如在部分或所有稳压器使能（EN）引脚内置有下拉电阻器的情况下，尤其如此。

PWR_ONRST信号相当于PWR_ON信号。然而，如果发生复位（NRST信号低脉冲），PWR_ONRST信号变成低电平，这意味着由该信号控制的稳压器在NRST低脉冲持续时间内关闭，然后复位释放到高电平状态后再打开。

这使得电源循环可以在外设上进行。建议在应用复位（NRST）发生后确保外设的正确重启和复位，特别是对于没有复位输入信号的外设。对于eMMC、NAND、NOR和SD-Card等外设启动器件/闪存，特别建议进行电源循环。

STM32MP15x器件具有双向焊盘复位（NRST），允许复位外部器件。如果发生崩溃（iwdg1_out_rst或iwdg2_out_rst watchdog超时），NRST信号上会产生一个复位脉冲。PWR_ONRST信号上会产生一个相同的脉冲来控制外设电源的电源循环。[第 4节：上电时序管理](#)中提供了一个时序图示例。

注：MPU的RPCTL（复位脉冲控制）允许控制NRST引脚的最小脉冲持续时间。启动时应由软件启用，并设置适当的持续时间；例如，通过在RCC_RDLSICR寄存器中设置位字段MRD[4:0] = 0x1F，将脉冲持续时间设为31 ms。

这就确保分立稳压器输出电压有足够的时间在脉冲结束（过渡到‘1’）之前下降，并重新启用稳压器。

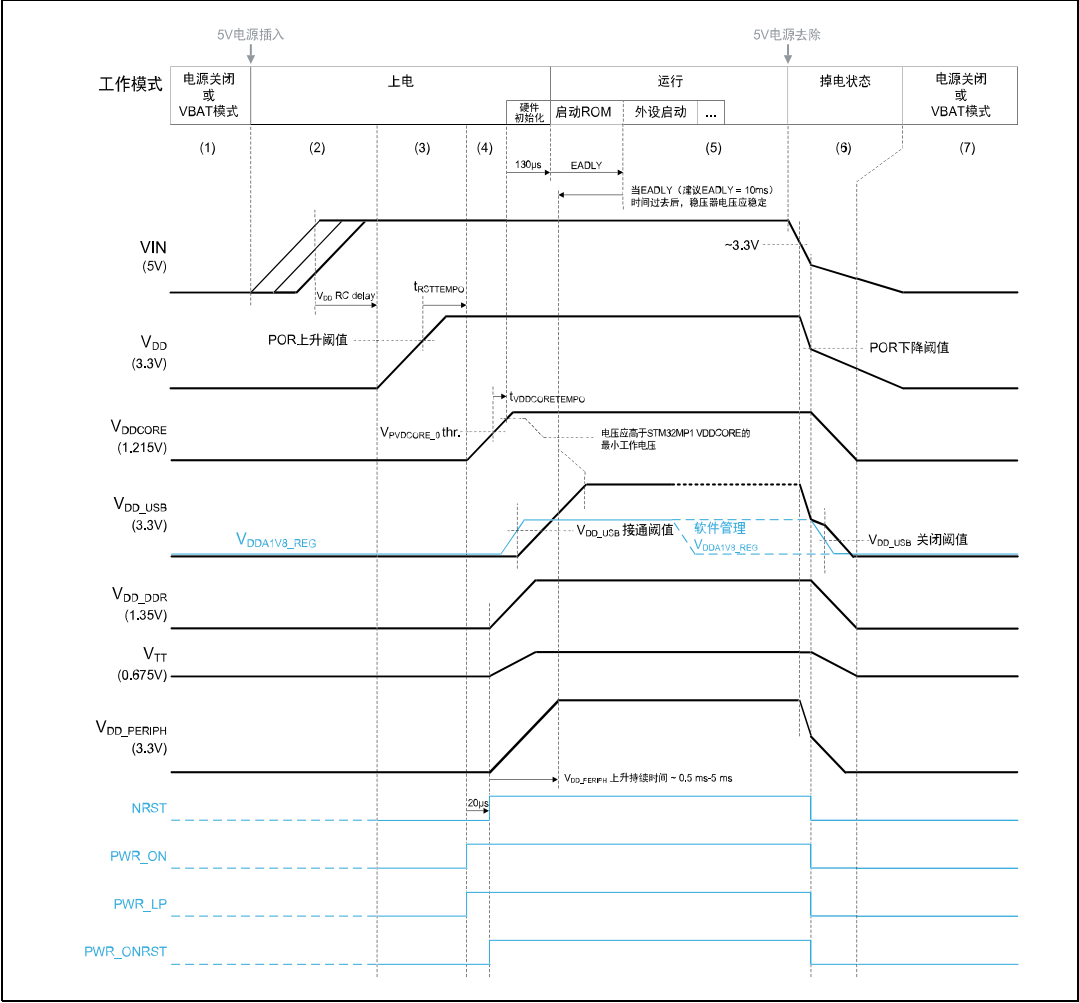
4 上电时序管理

在图 7到图 10中，与管理有关的V_{DDA1V8_REG}电平和信号波形以浅蓝色显示，从而提高清晰度。

4.1 上电 / 下电时序和复位管理

图 7中显示应用上电和下电时序，详情请参见图 1：分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V和DDR3L处所示的实现步骤。

图7. 上电 / 下电时序和复位管理图



1. 应用没有上电，或者MPU处于VBAT模式（由VBAT向VSW电源域供电）。
2. 一个有效的电源连接到该应用。VIN电压上升。经历一段时延（由无源R-C网络定义），以允许VIN电压稳定，VDD稳压器已启用。
3. V_{DD}电压开始上升：
 - a) MPU将NRST、PWR_ON、PWR_LP信号设为低电平，使PWR_ONRST信号变为低电平。
 - b) 一旦V_{DD}电源电压高于POR上升阈值水平^(a)，将开始t_{RSTTEMPO}^(b)时延。
4. t_{RSTTEMPO}时延过后，MPU将PWR_ON和PWR_LP信号设为高电平：
 - a) t_{RSTTEMPO}时延过后，MPU先等待20 μs^(c)，然后释放NRST信号，使PWR_ONRST变为高电平。V_{DD_PERIPH}、V_{DD_DDR}和V_{TT}由PWR_ONRST信号启用，V_{DD_PERIPH}、V_{DD_DDR}和V_{TT}电压开始上升。
 - b) V_{DDCORE}稳压器由PWR_ON信号启用，V_{DDCORE}电压开始上升。
 - c) 一旦V_{DDCORE}电压高于V_{PVDCORE_0}^(d)上升阈值水平，将开始t_{VDDCORETEMPO}^(e)时延。只要时延t_{VDDCORETEMPO}没有过去，MPU保持内部复位状态。
5. 时延t_{VDDCORETEMPO}过后，MPU退出内部复位状态（V_{DDCORE_OK}）：
 - a) V_{DDCORE}电压应高于V_{DDCORE}^(f)最小工作电压。这应由V_{DDCORE}稳压器电压转换率来保证。
 - b) V_{DDA1V8_REG}内部稳压器已启用。如果V_{DDA1V8_REG}电压达到V_{DD_USB}稳压器启用阈值，V_{DD_USB}稳压器将启用。
 - c) MPU执行内部硬件初始化（允许在约130 μs的时间内加载HSI和选项字节）。然后进入运行模式。EADLY^(g)延时定时器（10 ms）将启动。

a. POR上升阈值 = V_{BOR0}上升沿 = 1.67 V（典型值）

b. t_{RSTTEMPO} = 377 μs（典型值）

c. MPU的内部RCC时延。

d. V_{PVDCORE_0}上升沿 = 最低0.95 V

e. t_{VDDCORETEMPO} = 最低200 μs

f. V_{DDCORE}工作电压 = 最低1.18 V

g. 当从待机模式恢复时，EADLY定时器防止Boot ROM在准备就绪之前对启动外设执行任何访问。通常，它等待闪存上的稳定电压（由Boot ROM读取）来获取启动软件。在该应用中，保持默认值（10 ms），以等待V_{DD_PERIPH}和V_{DD_USB}电压稳定下来（参见RM0436 [4] 获取更多详细信息）。

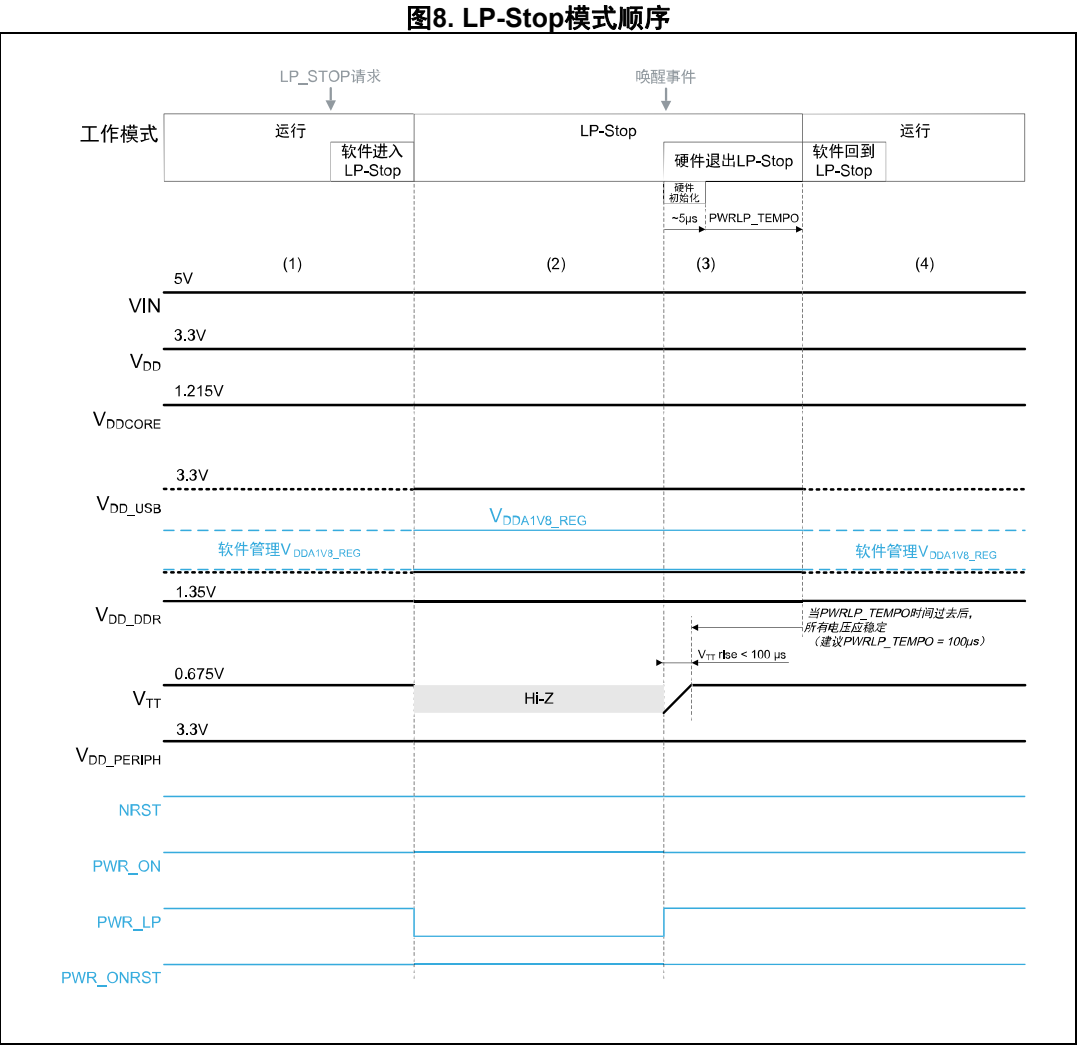
- d) 当EADLY时间过后，Boot ROM开始访问外部外设，以加载和执行启动软件。
默认情况下，当EADLY时间过后，所有稳压器电压都应稳定；特别是 V_{DD_PERIPH} 和 V_{DD_USB} ，它们分别是为闪存和USB接口供电的电源域。
 - e) 在应用初始化之后，如果没有附加USB外设，软件将禁用 V_{DDA1V8_REG} (V_{DD_USB})。
6. 从应用移除电源：
- a) V_{IN} 电压下降
 - b) 当 V_{IN} 电压接近 V_{DD} 、 V_{DD_USB} 和 V_{DD_PERIPH} (3.3 V) 时，它们开始和 V_{IN} 并行下降。
 - c) 一旦 V_{DD} 电源电压低于POR下降阈值^(a)，MPU内部复位并禁用 V_{DDA1V8_REG} 。MPU将NRST、PWR_ON和PWR_LP信号设为低电平。PWR_ONRST信号被NRST和PWR_ON信号强制变为低电平。 V_{DDCORE} 、 V_{DD_DDR} 、 V_{TT} 、 V_{DD_PERIPH} 稳压器被禁用。 V_{IN} 上的电流消耗降低，使 V_{IN} 缓慢下降。如果 V_{DDA1V8_REG} 达到 V_{DD_USB} 稳压器禁用阈值， V_{DD_USB} 稳压器将禁用。
7. 应用没有上电，或者MPU处于VBAT模式（由VBAT向 V_{SW} 电源域供电）。

a. POR下降阈值 = V_{BOR0} 下降沿 = 1.63 V典型值（或 = V_{BOR3} 下降沿 = 2.6 V最大，如果选项字节SELINBORH[0:1] = 11（BOR = 2.7 V））。

4.2 低功耗模式管理

4.2.1 LP-Stop模式

图 8: LP-Stop模式顺序中显示应用LP-Stop模式顺序，详情请参见图 1: 分立电源拓扑示例，IO 位于3.3 V和DDR3L处的实现步骤。在该应用中，V_{TT}是支持低功耗模式的唯一稳压器。



1. 应用已上电并运行。当请求LP_Stop模式时，软件准备进入LP_Stop模式（停止一些时钟，将DDR设为自刷新，设置PWRLP_TEMPO）。然后设置LPDS寄存器以进入LP_Stop模式：使PWR_LP信号有效。
2. V_{TT} 进入低功耗模式（高阻抗）。
3. 遇到唤醒事件时，MPU退出LP_Stop模式，并使PWR_LP信号无效：
 - a) V_{TT} 退出低功耗模式
 - b) 执行时钟恢复过程
 - c) HSI时钟振荡器稳定（大约需要5 μ s）之后，PWRLP_TEMPO^(a)定时器超时，等待 V_{TT} 稳压器电压稳定。在本应用中， V_{TT} 稳压器恢复时间小于100 μ s。因此，PWRLP_TEMPO持续时间至少应为100 μ s。
4. 当PWRLP_TEMPO延时过后，应用进入运行模式。软件从LP_Stop模式恢复（恢复时钟，从自刷新恢复DDR）。根据USB动作，软件可以打开或关闭VDDA1V8_REG（MPU的内部稳压器），这将自动打开或关闭 V_{DD_USB} 稳压器。

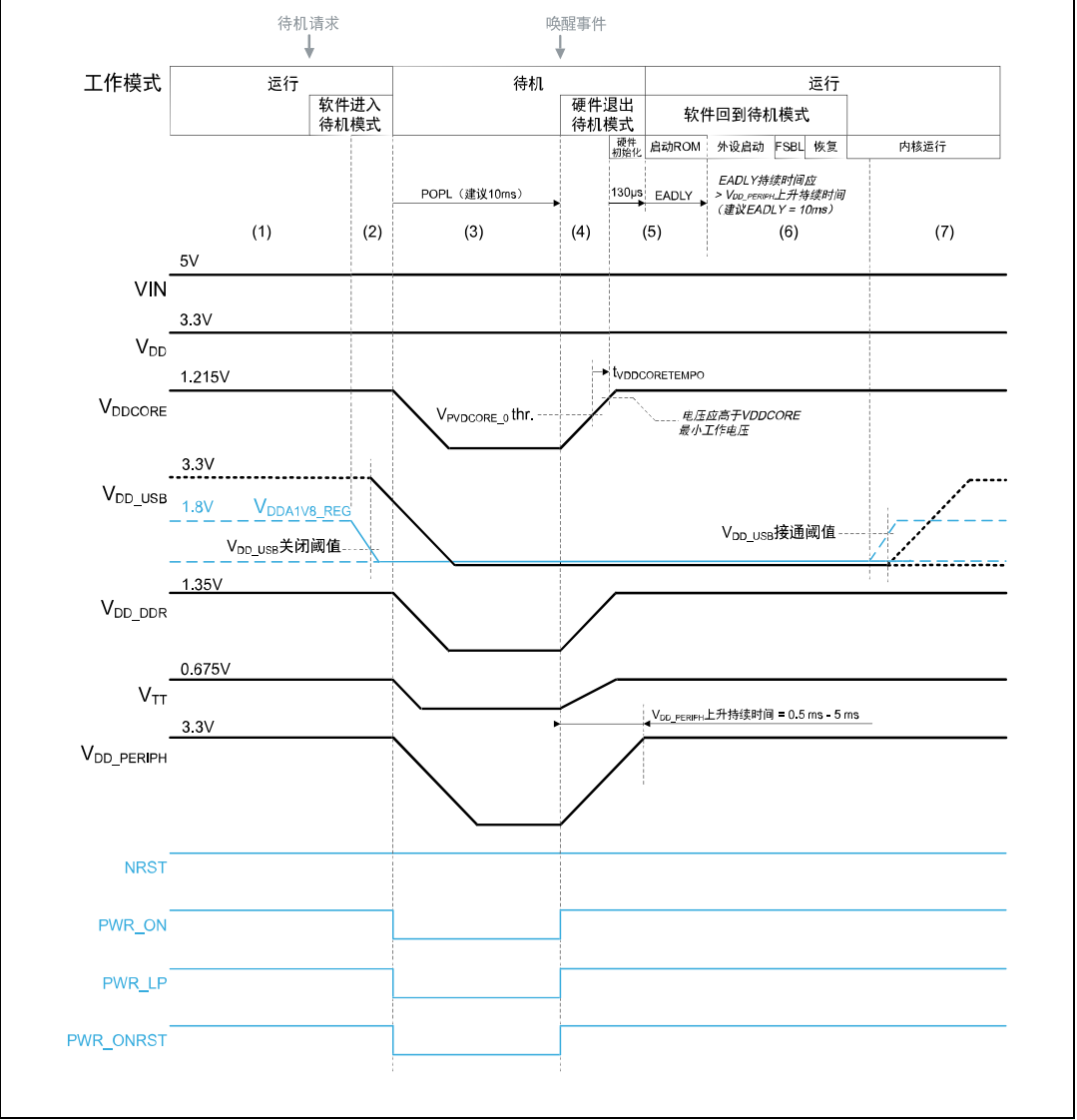
a. PWRLP_TEMPO是专用定时器，设计目的是在应用从LP_Stop模式变为运行模式时，等待稳压器恢复。PWRLP_TEMPO延时值必须在RCC_PWRLPDLYCR寄存器的PWRLP_DLY[21:16]位字段中设置。

4.2.2 待机模式

图 9中显示应用待机模式顺序，详情请参见图 1：分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V和DDR3L处中的实现步骤。

在该应用中，被Boot ROM用于读取启动软件（例如，FSBL）的闪存由V_{DD_PERIPH} 电源域供电，而DDR内存在待机模式下被关闭。

图9. 待机模式顺序



1. 应用已上电并运行。当请求待机模式时，软件准备进入待机模式（停止一些时钟，设置POPL^(a)和EADLY^(b)定时器等）。
2. 该软件可能关闭USB电源域，方法是关闭V_{DDA1V8}_REG，使V_{DD_USB}稳压器关闭^(c)。软件就绪后，MPU进入待机模式，POPL定时器自动启动。
3. PWR_ON信号被判为无效，而PWR_LP信号被判为有效：
 - a) 当PWR_ON信号被判为有效时，PWR_ONRST信号被强制变为低电平
 - b) V_{DDCORE}稳压器被PWR_ON信号关闭
 - c) V_{DD_DDR}、V_{REF_DDR}、V_{TT}和V_{DD_PERIPH}被PWR_ONRST信号关闭。
4. 遇到唤醒事件时，MPU退出待机模式^(d)，并使PWR_ON信号有效，使PWR_LP信号无效：
 - a) 当PWR_ON和NRST信号均为高电平时，PWR_ONRST信号上升。V_{DD_DDR}、V_{REF_DDR}、V_{TT}和V_{DD_PERIPH}被PWR_ONRST信号启用，V_{DD_DDR}、V_{REF_DDR}、V_{TT}和V_{DD_PERIPH}电压开始上升。
 - b) V_{DDCORE}稳压器由PWR_ON信号启用，V_{DDCORE}电压开始上升。
 - c) 一旦V_{DDCORE}电压高于V_{PVDCORE_0}上升最小阈值，将开始t_{VDDCORETEMPO}时延。只要t_{VDDCORETEMPO}时延没有过去，MPU保持内部复位状态。
5. t_{VDDCORETEMPO}时延过后，MPU退出内部复位状态（V_{DDCORE_OK}）：
 - a) V_{DDCORE}电压应高于V_{DDCORE}最小工作电压。这应该由V_{DDCORE}稳压器电压转换率来保证。
 - b) MPU执行内部硬件初始化（允许在约130 μs的时间内加载HSI和选项字节），然后进入运行模式。
 - c) EADLY延时定时器将启动。

-
- a. POPL定时器允许设置最短待机时间（最短PWR_ON脉冲低电平时间）。应设置POPL定时器，以保证外设稳压器的最短关闭时间。这是为了确保外设的低电压下正确重启。POPL定时器应根据具有最慢下降电压的稳压器进行设置（在此应用中，建议设为10 ms）。
 - b. 当从待机模式恢复时，EADLY定时器防止Boot ROM在准备就绪之前对启动外设执行任何访问。通常，其目的是等待闪存（由Boot ROM读取）获得稳定的电压，从而获取启动软件。在该应用中，建议采用默认值（10 ms），以等待V_{DD_PERIPH}和V_{DD_USB}电压稳定下来（参见RM0436 [1] 获取更多详细信息）。
 - c. 或者，如果软件在进入待机模式之前未关闭V_{DDA1V8}_REG，此时会被硬件自动禁用，关闭V_{DD_USB}。在本例中，V_{DDA1V8}_REG由硬件在退出待机模式时自动打开，打开V_{DD_USB}。
 - d. STM32MP15x在退出待机模式之前需等待POPL定时器时间过去；即使之前发生了唤醒事件。

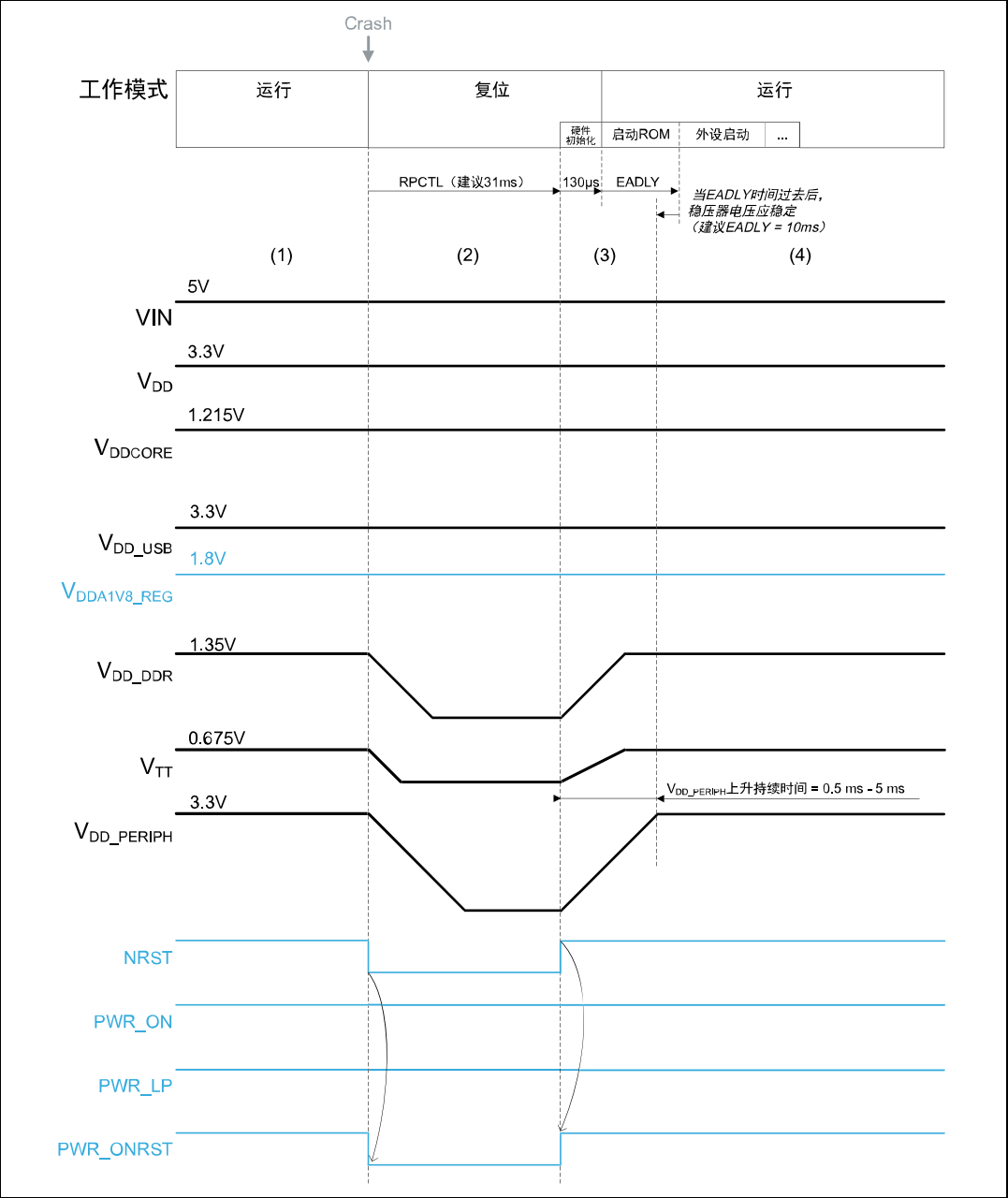
6. 当EADLY延时过后，Boot ROM开始访问外部外设（闪存），以加载和执行启动软件。默认情况下，当EADLY延时过后，所有稳压器电压都应稳定；特别是 V_{DD_PERIPH} ，它是为闪存供电的电源域。
 - a) 读取Boot ROM（外设启动），并验证和执行FSBL。
 - b) 该软件检测到“退出待机模式”，并相应地恢复内核软件。
7. 软件恢复运行之后，它可能接通USB电源域，方法是接通 V_{DDA1V8_REG} ，使 V_{DD_USB} 稳压器开启，具体取决于USB器件是否存在。

4.3 故障恢复管理

如第 3.3.1 节：故障恢复管理电路（可选）中所示，可以在设计中添加一个可选的外部分立电路（参见图 6：PWR_ONRST故障恢复管理信号），用于执行外设电源循环。这允许外设崩溃后正确地重启。这特别适合闪存，它在崩溃之后没有复位输入以正确重启。

图 10中显示的顺序说明了故障恢复顺序，详情请见图 1：分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V和DDR3L处中的实现步骤。

图10. 故障恢复顺序



1. 应用已上电并运行。在应用初始化过程中，RPCTL定时器（参见第 3.3.1 节）设为 31 ms，EADLY 设为 10 ms。发生崩溃（iwdg1_out_rst或iwdg2_out_rst watchdog超时），或者从用户复位按钮执行NRST脉冲。
2. MPU确认NRST信号有效，RPCTL定时器启动：
 - a) NRST_CORE和PWR_ONRST信号被NRST信号强制变为低电平。
 - b) V_{DD_DDR} 、 V_{REF_DDR} 、 V_{TT} 和 V_{DD_PERIPH} 稳压器被PWR_ONRST信号关闭。
 - c) V_{DD_DDR} 、 V_{REF_DDR} 、 V_{TT} 和 V_{DD_PERIPH} 电压下降
3. RPCTL定时器时间间隔过后（31 ms后）：
 - a) MPU释放NRST信号。
 - b) NRST_CORE信号随NRST信号升高，PWR_ONRST信号升高，因为PWR_ON和NRST信号都为高电平。
 - c) V_{DD_DDR} 、 V_{REF_DDR} 、 V_{TT} 和 V_{DD_PERIPH} 稳压器由PWR_ONRST信号开启， V_{DD_DDR} 、 V_{REF_DDR} 、 V_{TT} 和 V_{DD_PERIPH} 电压开始升高。
 - d) MPU执行内部硬件初始化（允许在约130 μ s的时间内加载HSI和选项字节），然后进入运行模式。
 - e) EADLY延时定时器将启动。
4. 当EADLY延时过后，Boot ROM开始访问外部外设（例如，闪存），以加载和执行启动软件（外设启动）。默认情况下，当EADLY延时过后，所有稳压器电压都应稳定；特别是 V_{DD_PERIPH} ，它是为闪存供电的电源域。

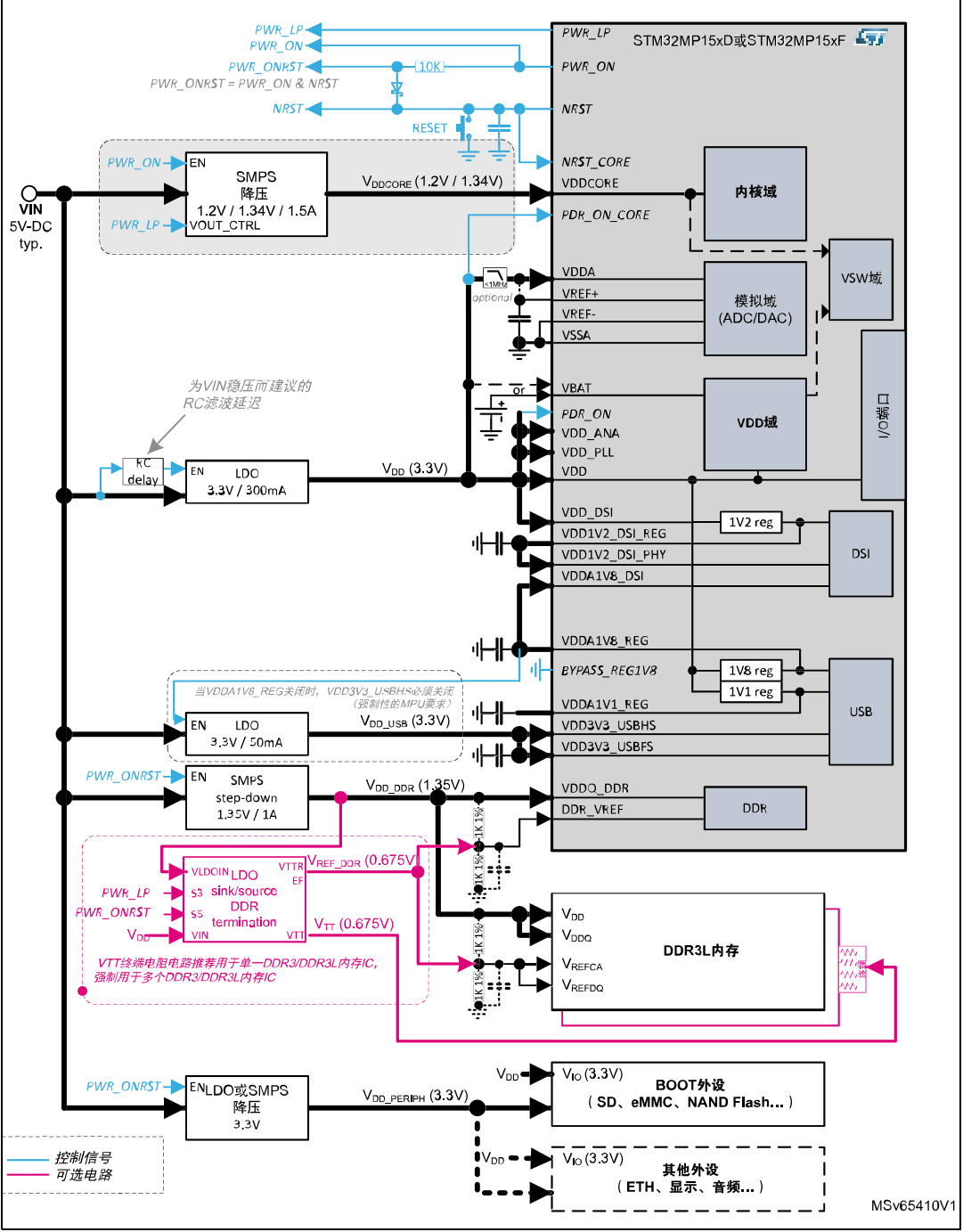
5 STM32MP15xD和STM32MP15xF增强型CPU频率供应管理

STM32MP15xD和STM32MP15xF器件具有增强的用户任务配置文件（参见AN5438 [\[8\]](#)）。该配置文件允许ARM®双Cortex®-A7 CPU在更高的时钟频率下运行（参见DS12505 [\[5\]](#)了解详细信息和限制）。

相应地，当CPU的工作频率（Fmpuss_ck）为650 MHz以上时，VDDCORE电压必须提高。当其不在650 MHz以上的运行模式下运行时，VDDCORE电压必须设置回其标称电压（1.2 V典型值）。这意味着稳压器模块必须支持两个输出电压。在该应用笔记中，我们选择使用LP-Stop模式。因此，这两个输出电压由MPU的PWR_LP信号驱动。参见[第 6.2.1 节：面向STM32MP15xD和STM32MP15xF器件的VDDCORE电源域的VRM规范](#)了解关于VRM的详细信息。

[图 11](#)显示的应用与[STM32MP15x带有DDR3L和3.3 V I/O电压接口](#)中的应用相同，除了VDDCORE电源。

图11. 分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V，DDR3L和VDDCORE电压缩放



1. MPU去耦方案没有显示（参见AN5031）。
2. 没有显示SMPS和LDO稳压器产品部件号、以及分立元件，但第6节：稳压器模块（VRM）规范详细介绍了其电气规范。
3. 没有显示VIN上的附加保护，如ESD、EMI滤波和过电压。

5.1 故障恢复管理和特定系统工作模式

第 3.3 节：低功耗模式和故障恢复管理中给出的信息同样适用于STM32MP15xD 和 STM32MP15xF器件，除了表 3：系统工作模式（被表 4：系统工作模式替换）。

此表总结了图 11：分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V，DDR3L 和VDDCORE电压缩放中所示的应用工作模式的电源状态。

表4. 系统工作模式

电源模式	NRST NRST_CORE	VDD	PWR_ON / VDDCORE	PWR_ON / VDDCORE	PWR_LP / VTT
运行	1	启动	1 / On_hv ⁽¹⁾	1 / 启动	1 / 启动
停止	1	启动	1 / On_hv ⁽²⁾	1 / 启动	1 / 启动
LP-Stop	1	启动	1 / On_nom ⁽³⁾	1 / 启动	0 / 关闭
待机	1	启动	0 / 关闭	0 / 关闭	0 / 关闭
VBAT或断电	-	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）	关闭（无VIN）
崩溃 （watchdog超时）	0（脉冲）	启动	1 / On_hv	0 / 关闭	1 / VTT关闭

- 1. 高电压启动：VDDCORE = 1.34 V增强CPU频率电压。
- 2. 至于增强CPU频率任务配置文件的可靠性，使用“高电压”的Stop（停止）模式被认为是RUN（运行）模式。有了本应用笔记中描述的VRM，建议使用LP-Stop而不是Stop模式。
- 3. 标称电压启动：VDDCORE = 1.2 V标称电压。

5.2 上电 / 下电时序和复位管理

第 4.1 节：上电 / 下电时序和复位管理中给出的数据同样适用于STM32MP15xD 和 STM32MP15xF器件，除了VDDCORE电压值：1.34 V而不是1.215 V。

5.3 低功耗模式管理

5.3.1 LP-Stop模式

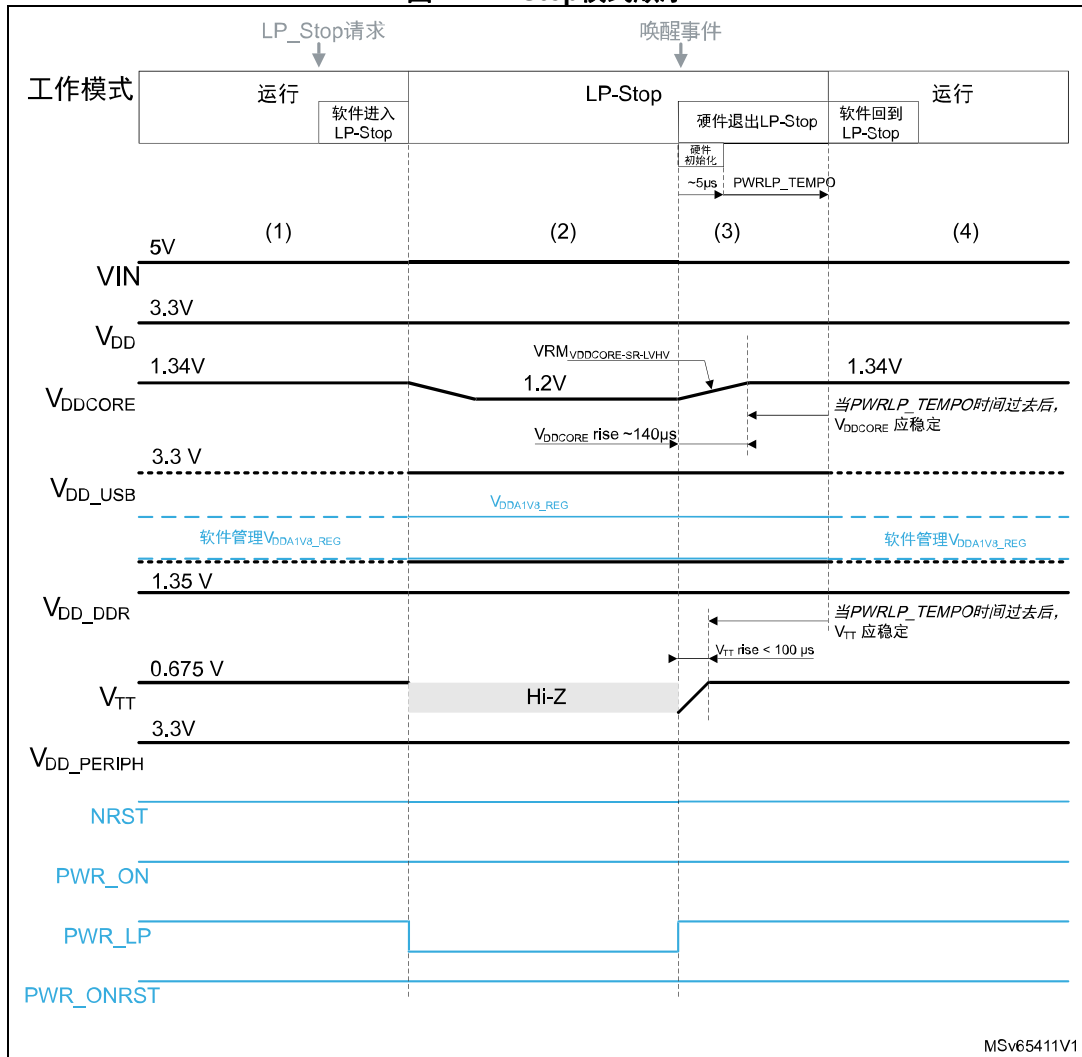
图 12：LP-Stop模式顺序中显示应用LP-Stop模式顺序，详情请参见图 11：分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V，DDR3L 和VDDCORE电压缩放中的实现步骤。

在本应用中，VDDCORE由两路电压驱动：

- 在运行模式下是1.34 V，用于支持增强CPU频率
- 在低功耗停止模式下是1.2 V

在低功耗模式下， V_{TT} 稳压器设为高阻抗。

图12. LP-Stop模式顺序



- 应用已上电并运行。当请求LP_Stop模式时，软件准备进入LP_Stop模式（停止一些时钟，将DDR设为自刷新，设置PWRLP_TEMPO等）。然后设置LPDS寄存器以进入LP_Stop模式：使PWR_LP信号有效：
 - V_{TT} 进入低功耗模式（高阻抗）。
 - V_{DDCORE} 电压下降到 $VRM_{VDDCORE-LPSTOP}$ 电压（1.2V）并且保持稳定
- 遇到唤醒事件时，MPU退出LP_Stop模式，并使PWR_LP信号无效：
 - V_{TT} 退出低功耗模式
 - V_{DDCORE} 电压通过 $VRM_{VDDCORE-SR-LVHV}$ 电压转换速率升高到 $VRM_{VDDCORE-RUN}$ 电压（1.34V），并且保持稳定。
 - 执行时钟恢复过程。
 - HSI时钟振荡器稳定（大约需要5 μ s）之后，PWRLP_TEMPO定时器超时，等待 V_{TT} 稳压器和 V_{DDCORE} 电压趋于稳定。在应用中， V_{TT} 稳压器恢复时间小于100 μ s， V_{DDCORE} 稳压器恢复时间约为140 μ s。因此，PWRLP_TEMPO持续时间最少应有140 μ s（ V_{TT} 和 V_{DDCORE} 之间的最大上升持续时间值）。
- 当PWRLP_TEMPO延时过后，应用进入运行模式。该软件从LP_Stop模式恢复（恢复时钟，从自刷新恢复DDR等）。根据USB动作，软件可以打开或关闭VDDA1V8_REG（MPU的内部稳压器），这将自动打开或关闭VDD_USB稳压器。

5.3.2 待机模式

第 4.2.2 节：待机模式中给出的数据同样适用于STM32MP15xD 和STM32MP15xF器件，除了VDDCORE电压值：1.34 V而不是1.215 V。

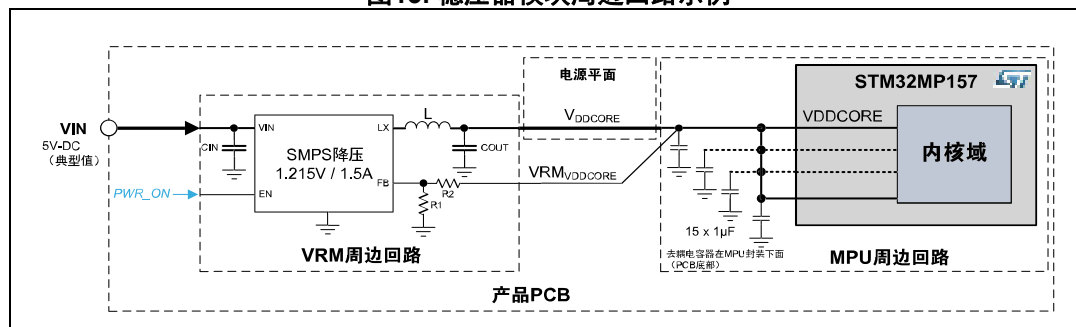
6 稳压器模块 (VRM) 规范

本节提供为MPU电源域供电的稳压器模块（VRM）的电气规范。

产品设计者在设计VRM（参见图 13）时，必须根据这些电气规范选择稳压器IC和相关的分立元件。

本节仅适用于严格遵循MPU去耦方案（参见AN5031[1]）和布局建议，以最小化电力传输网络阻抗的应用场景。

图13. 稳压器模块周边回路示例



6.1 VDD (V_{DD ANA}、V_{DD PLL}、V_{DD DSI}) 的VRM规范电源域

V_{DD} 是IO电压接口的主电源，在待机模式期间，内部部件保持供电。 V_{DD_ANA} 、 V_{DD_PLL} 和 V_{DD_DSI} 必须连接到 V_{DD} 。 V_{DD} 通常为1.8 V或3.3 V，可以设为1.71 V-2 V或2.7 V-3.6 V范围内的值。

只要VIN电压存在，此电源总是启用。不需要选择带EN引脚的稳压器。然而，为了稳定输入电压，一个EN引脚可能需要添加一个分立RC滤波器来延迟稳压器启动。

表5. VDD电源域的VRM规范

符号	参数	工作条件	最小	典型值	最大值	单位
VRM _{VDD}	输出电压范围	包括VRM _{VDD-N}	1.71 2.7	1.8 3.0或 3.3	2.0 3.6	V
VRM _{VDD-ACC}	输出电压精度	包括线性调节、负载调节和温度变化	-5	-	+5	%
VRM _{VDD-N}	输出噪声电压 (SMPS的波纹电压)	I _{OUT} = 10 μA-300 mA f = 10 Hz 至 5 MHz	-	-	30	mV _{p-p}
VRM _{I_{DD}}	连续输出电流		300	-	-	uA
VRM _{VDD-TRANS}	负载瞬态调节	I _{OUT} =1mA-100mA或100mA-1 mA/1 μs	-	-	+/-30	mV

6.2 VDDCORE电源域的VRM规范

V_{VDDCORE}是为所有MPU核心部件（包括双核Arm®Cortex®-A7CPU和3DVivante®GPU）供电的主数字电压。因此，V_{VDDCORE}电源会出现明显的电流负载瞬态。因此，应特别注意MPU去耦电容器的放置位置和布局，以便最小化电力传输网络阻抗。

由于V_{VDDCORE}在待机模式下是关闭的，需要一个带EN引脚的稳压器来支持待机模式。除了选择带有输出放电电阻的稳压器外，建议在稳压器被禁用时允许电压快速下降。这是为了在应用进入待机模式时最小化POPL定时器MPU寄存器的设置)。

表6. VDDCORE电源域的VRM规范

符号	参数	工作条件	最小	典型值	最大值	单位
VRM _{VDDCORE}	输出电压		-	1.215	-	V
VRM _{VDDCORE-ACC}	输出电压精度	包括线性调节、负载调节和温度变化	-2.88	-	+2.88	%
VRM _{VDDCORE-RIPPLE}	输出噪声/波纹电压	I _{OUT} = 1 mA 至 1500 mA f = 10 Hz 至 5 MHz	-	-	30	mV _{p-p}
VRM _{ICORE}	连续输出电流		1500	-	-	uA
VRM _{VDDCORE-TRANS}	负载瞬态调节	I _{OUT} = 1 mA - 450 mA或450 mA - 1 mA/1 μs	-	-	+/-30 ⁽¹⁾	mV
VRM _{VDDCORE-SR}	启动时的输出电压转换速率	VRM _{VDDCORE} 从V _{PVDDCORE_0} 转为V _{VDDCORE-Min}	1.15	-	-	mV/μs

1. 当瞬态电流为负时，由负载瞬态引起的电压过冲/下冲不得高于VRM_{VDDCORE} + VRM_{VDDCORE-TRANS}；当瞬态电流为正时，不得低于VRM_{VDDCORE}-VRM_{VDDCORE-TRANS}。输出电压噪声/纹波（VRM_{VDDCORE-RIPPLE}）默认包含在VRM_{VDDCORE-TRANS}预算中。

6.2.1 面向STM32MP15xD和STM32MP15xF器件的VDDCORE电源域的VRM规范

当Arm®双Cortex®-A7在增强模式下以800-MHz时钟频率工作时，VRM必须向MPU的V_{VDDCORE}提供VRM_{VDDCORE-RUN}电压。当应用在LP-Stop模式下工作时，VRM必须向MPU的V_{VDDCORE}提供VRM_{VDDCORE-LPSTOP}电压。因此，VRM必须支持两路由MPU的PWR_LP信号驱动的可控输出电压（参见表 11获取详细信息）。

表 7中提供VRM电气规范。

第 7.3节提供VRM电路示例。

表7. 通过电压缩放实现800 MHz支持的VDDCORE电源域的VRM规范

符号	参数	工作条件	最小	典型值	最大值	单位
VRM _{VDDCORE-RUN}	输出电压 (在运行模式下)	STM32MP15xF在运行模式下的频率高于650 MHz	-	1.34	-	V
VRM _{VDDCORE-LPSTOP}	输出电压 在LP-Stop模式下	STM32MP15xF在LP-Stop模式下		1.2		V
VRM _{VDDCORE-ACC}	输出电压精度 在运行模式或LP-Stop模式下	包括线性调节、负载调节和温度变化	-2.98	-	+2.98	%
VRM _{VDDCORE-SR-LVHV}	从'LP-Stop'转为'RUN'工作模式时的输出电压转换速率	VRM _{VDDCORE} 从VRM _{VDDCORE-LPSTOP-Min} 转为VRM _{VDDCORE-RUN-Min}	(参见(1))	-	-	mV/μs

1. VRM_{VDDCORE-SR-LVHV}值没有技术约束。然而，如第 5.3.1 节: LP-Stop 模式 中所述，应根据VRM_{VDDCORE-SR-LVHV}值设置MPU的PWRLP_TEMPO定时器。例如，如果VRM的电压转换速率为1 mV/μs，则从VRM_{VDDCORE-LPSTOP}转为VRM_{VDDCORE-RUN}的恢复电压持续时间为140 μs=(1340 mV–1200 mV)×1mV/μs。在本例中，MPU的PWRLP_TEMPO定时器应设为最小值140μs。建议添加10-20%的余量，以说明最坏的情况（温度、公差等）。建议的电压转换速率为1-10 mV/μs。较低的电压转换速率会增加瞬态电流，但会减少从'LP-Stop'向'Run'模式转变期间的输出电压恢复时间，而较高的电压转换速率会带来相反的结果。

其他VRM电气规范（VRM_{VDDCORE-RIPPLE}、VRM_{ICORE}、VRM_{VDDCORE-TRANS}和VRM_{VDDCORE-SR}）在表 6: VDDCORE电源域的VRM规范中定义。

6.3 VDDQ_DDR电源域VRM规范

V_{DDQ_DDR}为MP_{DDR}电压接口供电。除了V_{DDQ_DDR}，VRM也应为DDR_{IC}供电。本节仅涵盖双DDR3L的VRM规范（参见图 1: 分立电源拓扑示例，IO位于3.3 V和DDR3L处获取详细信息）。应特别注意去耦电容器的放置位置和布局，以便最小化MPU_{VDDQ_DDR}电源和DDR3L_{IC}的电力传输网络阻抗。更多详细信息，请参见AN5122 [6]。

由于DDR内存在待机模式下是关闭的，需要一个带EN引脚的稳压器来支持待机模式。此外，建议选择带有输出放电电阻的稳压器，以便在稳压器被禁用（应用进入待机模式）时允许电压快速下降。

- 假设：
- DDR3L电压范围为1.283 V到1.45 V（1.35 V典型值）。（来自JEDEC JESD79-3-1A）
 - 1.425 V最大DC值（来自JEDEC JESD79-3-1A）= 1.35 V + 5.5%
 - VDDR最大AC值 = 25 mV（1.45 V – 1.425 V）
 - 相同的值用于VDDR最小AC
 - 1.308 V最小DC值（1.283 V + 0.025）= 1.35 V – 3.1%

表8. VDDQ_DDR和DDR3L IC电源域的VRM规范

??	??	????	??	???	???	??
VRM _{VDDR}	????		-	1.35	-	V
VRM _{VDDR-ACC}	??????	????????????????	-3 (-3.1) ⁽¹⁾	-	+3 (+5.5) ⁽¹⁾	%

表8. VDDQ_DDR和DDR3L IC电源域的VRM规范

??	??	????	??	???	???	??
VRM _{VDDR-RIPPLE}	????/????	I _{OUT} = 1 mA ? 1 A f = 10 Hz ? 5 MHz	-	-	25	mV _{p-p}
VRM _{IDDR}	??????		1000	-	-	uA
VRM _{VDDR-TRANS}	??????	I _{OUT} = 1 mA - 450 mA?450 mA - 1 mA/1 μs	-	-	+/-25 ⁽²⁾	mV
VRM _{VDDR-SS}	???????	?EN?????VRM _{VDDR} ~ 0??95% ?VRM _{VDDR} ?????	-	-	10 ⁽³⁾	us

1. ?????????? +/-3%?
2. ?????????????????????/?????VRM_{VDDR} + VRM_{VDDR-TRANS} ?????????????VRM_{VDDR} - VRM_{VDDR-TRANS}
???????/???VRM_{VDDR-RIPPLE}?????VRM_{VDDR-TRANS}???
3. 10 ms?MPU?EADLY?????EADLY??MPU????????????????????????????????????? 4?????????

7 稳压器模块示例

7.1 5 V DC~3.3 V DC - 300 mA应用的VRM示例

图14. 5 V~3.3 V - 300 mA应用的VRM详情

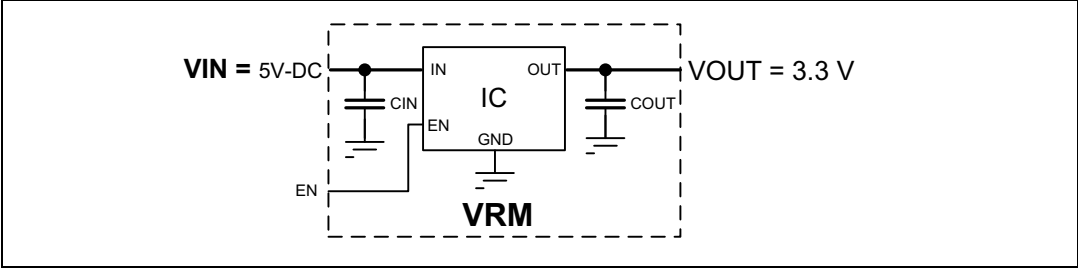


表9. 5 V~3.3 V - 300 mA应用的VRM示例

??	??
IC	??3.3 V LDO DFN4-1x1 mm - ???NCP161AMX330TBG?
CIN / COUT	MLCC - 1 μ F - 6.3 V - 0402 - Murata GRM155R60J105KE19

7.2 5 V DC~1.215 V DC - 1500 mA应用的VRM示例

图15. 5 V~1.215 V/1500 mA应用的VRM详情

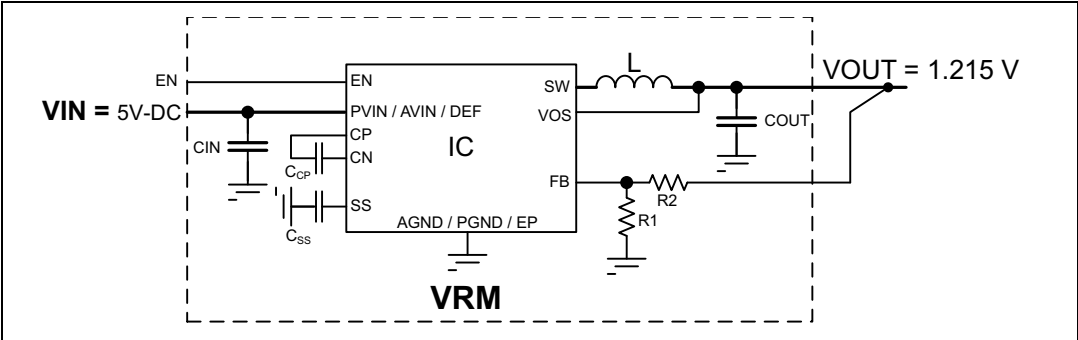


表10. 5 V~1.215 V - 1500 mA应用的VRM示例

??	??
IC	???3A??SMPS - VQFN-3x3 mm - Ti TLV62090RGT
L	??? - 1 μ H - 3.22 A - 14 m Ω - Wurth 74404043010A
CIN	MLCC - 10 μ F - 10 V - 0603 - Murata GRM188R61A106KE69D
COUT	2 x MLCC - 22 μ F - 6.3 V - 0603 - Murata GRM188R60J226MEA0J
C _{CP} / C _{SS}	MLCC - 10 nF - 16 V - 0402 - Yageo CC0402KRX7R7BB103
R1	160 k Ω - 1%
R2	82.5 k Ω - 1%

7.3 5V DC~可扩展1.34 V / 1.2 V DC - 1500 mA应用的VRM示例

图16. 5 V~可扩展1.34 V / 1.2 V - 1500 mA应用的VRM详情

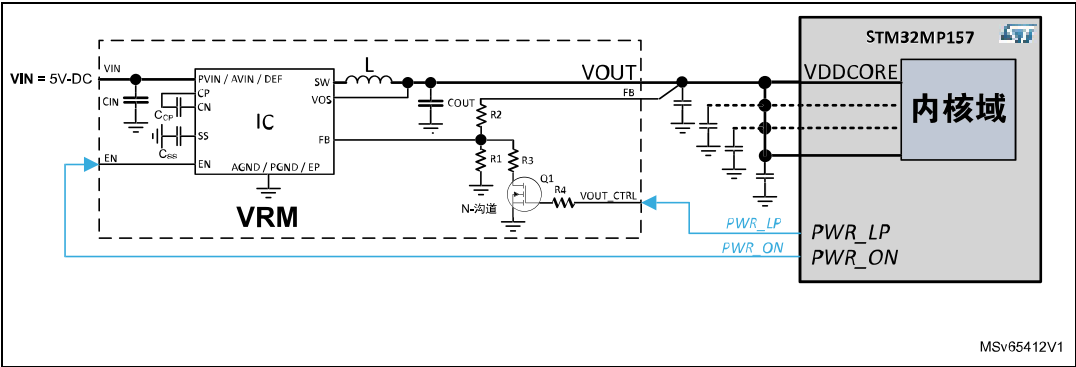


图 16中的VRM有一个附加电路插入到反馈回路中，允许控制两个输出电压（参见第 7.3.1 节：Vout (R1, R2, R3, R4) 计算实例 获取详细信息）。

元件	说明
IC	可调节3 A降压SMPS - VQFN-3x3 mm – Ti TLV62090RGT
L	电感器 – 1 μ H – 3.22 A – 14 m Ω – Wurth 74404043010A
CIN	2 x MLCC – 10 μ F – 10 V – 0603 – Murata GRM188R61A106KE69D
COUT	2 x MLCC – 22 μ F – 6.3 V – 0603 – Murata GRM188R60J226MEA0J
C _{CP} / C _{SS}	MLCC – 10 nF – 16 V – 0402 – Yageo CC0402KRX7R7BB103
R1	150 k Ω - 1%
R2	75 k Ω - 1%
R3	430 k Ω - 1%
R4	150 k Ω - 5%
Q1 ⁽¹⁾	N-沟道MOSFET, Vgs(th): 1V, Vds: 20 V, Id: 0.5 A - Vishay Si1062x

- Q1 MOSFET选择的关键参数：
 - N-沟道
 - $I_{DSS} < 2 \mu A$ （条件：Vds = 0.8V, Vgs = 0 V）
 - $V_{GS(th)} < 1.8 V$ （应低于PWR_LP IO 电压；所以低于MPU的VDD电压）
 - $I_{D min} > 2 \mu A$
 - $V_{DS} > 0.8 V$
 - 建议Crss小于20pF（这是为了避免在PWR_LP信号跃迁过程中能量从PWR_LP信号传输到Q1栅极-漏极（通过Crss），然后再传输到IC的反馈节点。在PWR_LP信号跃迁过程中，这种能量传输会对IC的反馈节点产生干扰，造成小的过冲和下冲现象，持续时间几 μs ）。

表11. 1.34V / 1.2 V的VRM真值表

EN	VOUT_CTRL	VOUT
0	-	0 V (关闭)
1	0	1.2 V
1	1	1.34 V

7.3.1 Vout (R1、R2、R3、R4) 计算实例

图 16中使用的IC（降压SMPS）有一个反馈电压等于 $V_{FB} = 0.8\text{ V}$ 。

- 当 $VOUT_CTRL=0$ （LP-Stop模式）时，MOSFET Q1断开，Q1漏极节点是浮动的。输出电压 $VOUT$ 是最低值，等于：
 $VOUT_0 = (R1 + R2) / R1 \times V_{FB} = (150 + 75) / 150 \times 0.8 = 1.2\text{ V}$
- 当 $VOUT_CTRL=1$ （运行模式）时，MOSFET Q1 闭合，Q1漏极节点接地（相比R3的值，Q1 $R_{DS(on)}$ 可以忽略）。输出电压 $VOUT$ 是最高值，等于：
 $VOUT_1 = (R1 // R3 + R2) / R1 // R3 \times V_{FB} = (111.2 + 75) / 111.2 \times 0.8 = 1.339\text{ V}$

R1和R2需要首先选择，以达到输出电压 $VOUT_0 = 1.2\text{ V}$ 。

在第一步中，为R1或R2选择一个任意值。在第二步中，应选择R3，以达到 $VOUT_1 = 1.34\text{ V}$ 。

R4具有高阻值，可增加密勒效应持续时间，以减少Q1晶体管的导通延迟时间。应调整R4的阻值，以便达到合理的输出电压转换速率（ $VRM_{VDDCORE-SR-LVHV}$ ），在1 - 10 mV/μs之间。

7.4 5V DC~1.35 V DC - 1000 mA应用的VRM示例

图17. 5 V~1.35 V - 1000 mA应用的VRM详情

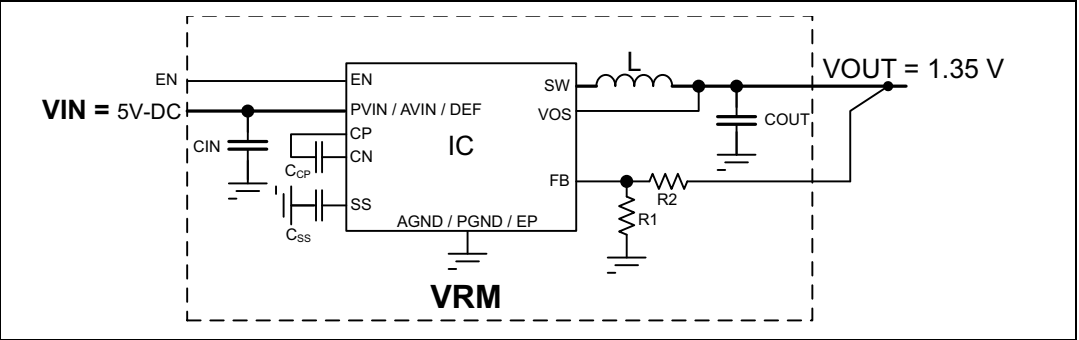


表12. 5 V~1.35 V - 1000 mA应用的VRM示例

元件	说明
IC	可调节3 A降压SMPS - VQFN-3x3 mm – Ti TLV62090RGT
L	电感器 – 1 μ H – 3.22 A – 14 m Ω – Würth 74404043010A
CIN	MLCC - 10 μ F - 10 V - 0603 - Murata GRM188R61A106KE69D
COUT	2 x MLCC – 22 μ F – 6.3 V – 0603 – Murata GRM188R60J226MEA0J
C _{CP} / C _{SS}	MLCC – 10 nF - 16 V - 0402 – Yageo CC0402KRX7R7BB103
R1	160 k Ω - 1%
R2	110 k Ω - 1%

7.5 5V DC~3.3 V DC - 2000 mA应用的VRM示例

图18. 5 V~3.3 V - 2000 mA应用的VRM详情

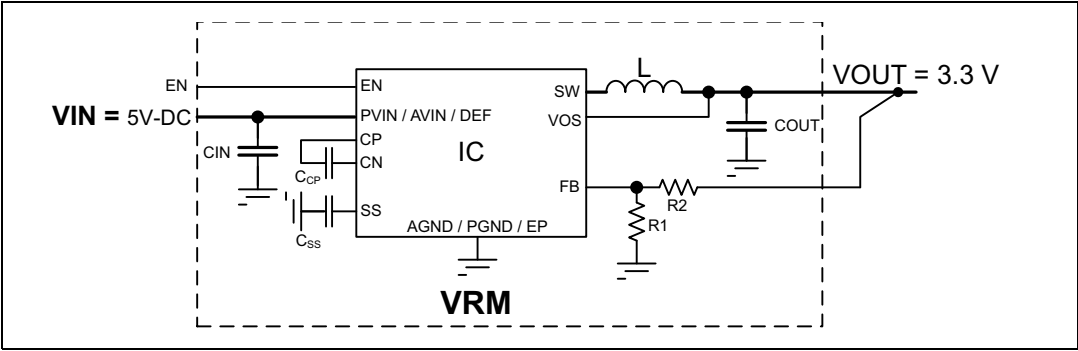


表13. 5 V~3.3V - 2000 mA应用的VRM示例

元件	说明
IC	可调节3 A降压SMPS - VQFN-3x3 mm – Ti TLV62090RGT
L	电感器 – 1 μ H – 3.22 A – 14 m Ω – Würth 74404043010A
CIN	MLCC - 10 μ F - 10 V - 0603 - Murata GRM188R61A106KE69D
COUT	2 x MLCC – 22 μ F – 6.3 V – 0603 – Murata GRM188R60J226MEA0J
C _{CP} / C _{SS}	MLCC – 10 nF - 16 V - 0402 – Yageo CC0402KRX7R7BB103
R1	150 k Ω - 1%
R2	470 k Ω - 1%

8 版本历史

表14. 文档版本历史

日期	版本	变更
2019年7月11日	1	初始版本。
2020年2月14日	2	<p>增加了关于STM32MP15xD和STM32MP15xF器件（支持800 MHz扩展频率）的信息：</p> <ul style="list-style-type: none"> 增加了第 5 节：STM32MP15xD和STM32MP15xF增强型CPU 频率供应管理， 第 6.2.1 节：面向STM32MP15xD和STM32MP15xF器件的VDDCORE电源域的VRM规范， 第 7.3 节：5V DC~可扩展1.34 V / 1.2 V DC - 1500 mA应用的VRM示例以及第 7.3.1 节：Vout (R1、R2、R3、R4) 计算实例。 <p>更新了表 1：参考文档、图 1：分立电源拓扑示例，IO 位于3.3 V和DDR3L处和图 4：分立电源拓扑示例，IO 位于1.8 V和DDR3L处。</p> <p>更新了第 3.1.2 节：LDO或SMPS的调节器拓扑建议、第 3.3 节：低功耗模式和故障恢复管理、第 6.2 节：VDDCORE电源域的VRM规范和第 6.3 节：VDDQ_DDR电源域VRM规范。</p> <p>修改了表 8：VDDQ_DDR和DDR3L IC电源域的VRM规范中的注释2。</p> <p>更改了第 7.4 节：5VDC~1.35VDC-1000 mA应用的VRM示例（1000 mA和1.35V）的标题</p> <p>更改了表 13：5 V~3.3V - 2000 mA应用的VRM示例（2000 mA和3.3V）的标题</p>

表15. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2020年8月15日	1	中文初始版本。

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。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。

© 2020 STMicroelectronics - 保留所有权利