

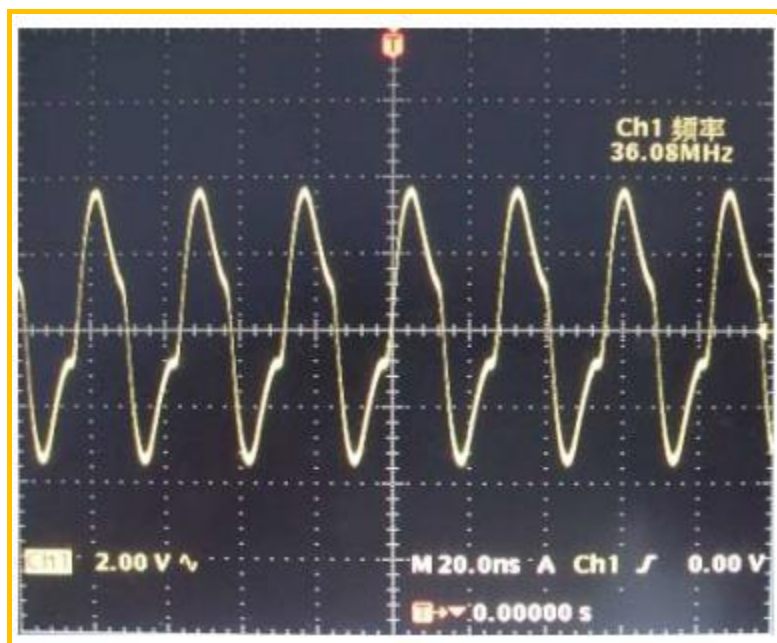
时钟失效后 CPU 还会运行

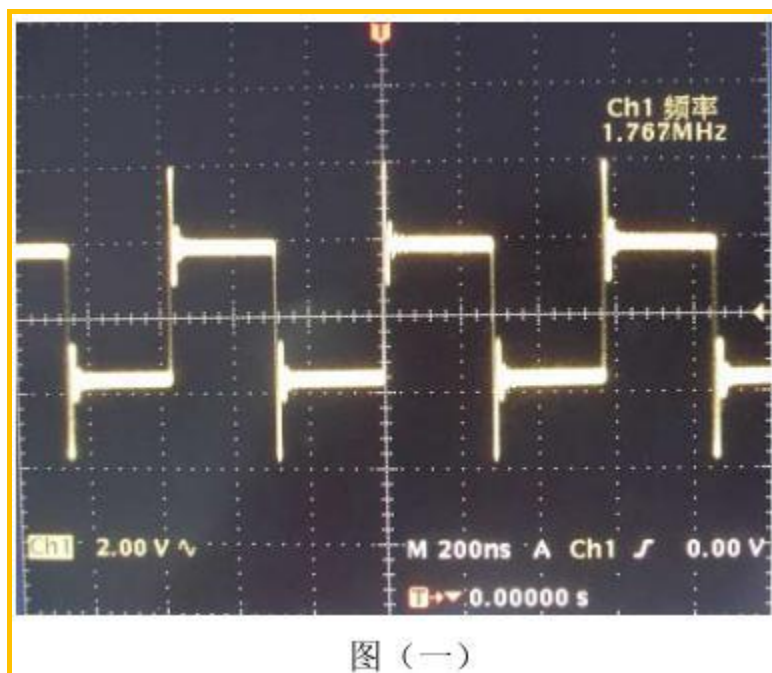
问题：

该问题由某客户提出，发生在 STM32F103VDT6 器件上。据其工程师讲述：在其产品的设计中，STM32 的 HSE 外接 8MHz 的晶体产生振荡，然后通过 STM32 内部的 PLL 倍频到 72MHz，作为 STM32 的系统时钟，驱动芯片工作。在 STM32 片外有专用的看门狗芯片，监控 STM32 的运行。STM32 内部的软件会在 STM32 的某个管脚上产生脉冲来复位看门狗。一旦 STM32 没有及时的产生脉冲来复位看门狗，则看门狗会认为 STM32 运行不正常，从而复位 STM32。在对该产品做可靠性测试时，进行了对看门狗监控时钟失效能力的测试。测试的方法是：将 HSE 外接的晶体的两个端子接地，使其停止振荡，从而验证看门狗能否做出对 STM32 的做出复位动作。试验结果表明，看门狗没有产生复位动作。进一步测试发现，STM32 在失效情况下仍在向看门狗发送复位脉冲。

调研：

重复测试，确认其所述现象属实。检查软件代码，确认其软件没有开启 STM32 的 CSS 功能。修改代码，将 PLL 的二分频从 STM32 的 MCO 管脚送出，以方便用示波器观察。通过控制晶体的管脚是否接地来控制 HSE 是否振荡。当 HSE 正常振荡时，MCO 送出的信号频率为 36MHz，当 HSE 停止振荡时，MCO 送出的信号的频率在 1.7MHz 附近，如图（一）所示：





通过调试器观察寄存器 RCC_CFGR 中的 SWS 控制控制位，其值为[10]，说明此时的系统时钟确实来自 PLL 的输出。

从 STM32F103VD 的数据手册中查找 PLL 相关的参数如表（一）：

Symbol	Parameter	Value			Unit
		Min	Typ	Max ⁽¹⁾	
f _{PLL_IN}	PLL input clock ⁽²⁾	1	8.0	25	MHz
	PLL input clock duty cycle	40		60	%
f _{PLL_OUT}	PLL multiplier output clock	16		72	MHz
t _{LOCK}	PLL lock time			200	μs
Jitter	Cycle-to-cycle jitter			300	ps

表（一）

其中，PLL 的输出频率范围是 16MHz – 72MHz。也就是说，PLL 在处于相位锁定的状态下，可以输出 16MHz – 72MHz 的时钟信号。而当输入信号频率过低而导致输出信号频率低于 16MHz 时，将可能处于失锁的状态。在这状态下，它的输出信号的频率与输入信号的频率之间，不一定符合所设定的倍频与分频关系。更确切的说，不能通过公式：

$$\text{输出信号频率} = \frac{\text{输入信号频率} \times \text{倍频数}}{\text{分频数}}$$

得出“输入信号频率为零时，输出信号频率也为零”这样的结论。这一点与实测的结果相吻合。

结论：

STM32 的 PLL 在没有输入信号的情况下，仍能维持在最低的频点处振荡，产生输出。以至，CPU 及其它外设仍能在 PLL 送出的时钟的驱动下运行。所以，通过判断有无时钟来驱动 CPU 执行指令的方式来判断 HSE 是否失效是行不通的。

处理：

对软件做如下修改：

1. 在软件的初始化部分，开启 STM32 的 CSS 功能；
2. 修改 NMI 中断服务程序，加入 while(1) 陷阱语句；

开启 CSS 功能后，当 HSE 失效时，STM32 会自动开启 HSI，并将系统时钟的来源切换到 HSI 的输出，同时产生 NMI 中断。这样，程序的流程将停留在 NMI 中而不能产生复位片外的看门狗的脉冲。当片外看门狗溢出后，就会复位 STM32，使其恢复到正常驻的状态。

建议：

STM32 中的 CSS 功能是专门为检测和处理 HSE 失效而设计的。但该功能在 STM32 复位后是被禁止的，须要软件对其使能才会发挥作用。当 CSS 单元检测到 HSE 失效时，它会使能 HSI，并将系统时钟切换到 HSI。同时，它会关闭 HSE，如果 PLL 的输入信号来自 HSE 的输出，它也会关闭 PLL。CSS 单元在做时钟调整的同时，也会产生一个 NMI 中断请求，和一个送给高级定时器的刹车信号。NMI 中断请求会产生一个 NMI 中断，以便用户程序可以在中断服务程序中做紧急处理，而刹车信号则是使高级定时器进入刹车状态，以防止由其控制的电机驱动桥臂由于失去控制而过流。用户程序可以在 NMI 中断服务程序中尝试恢复 HSE 及 PLL 的功能，也可以使用陷阱让程序的流程停留在服务程序中，从而等待看门狗复位整个系统。

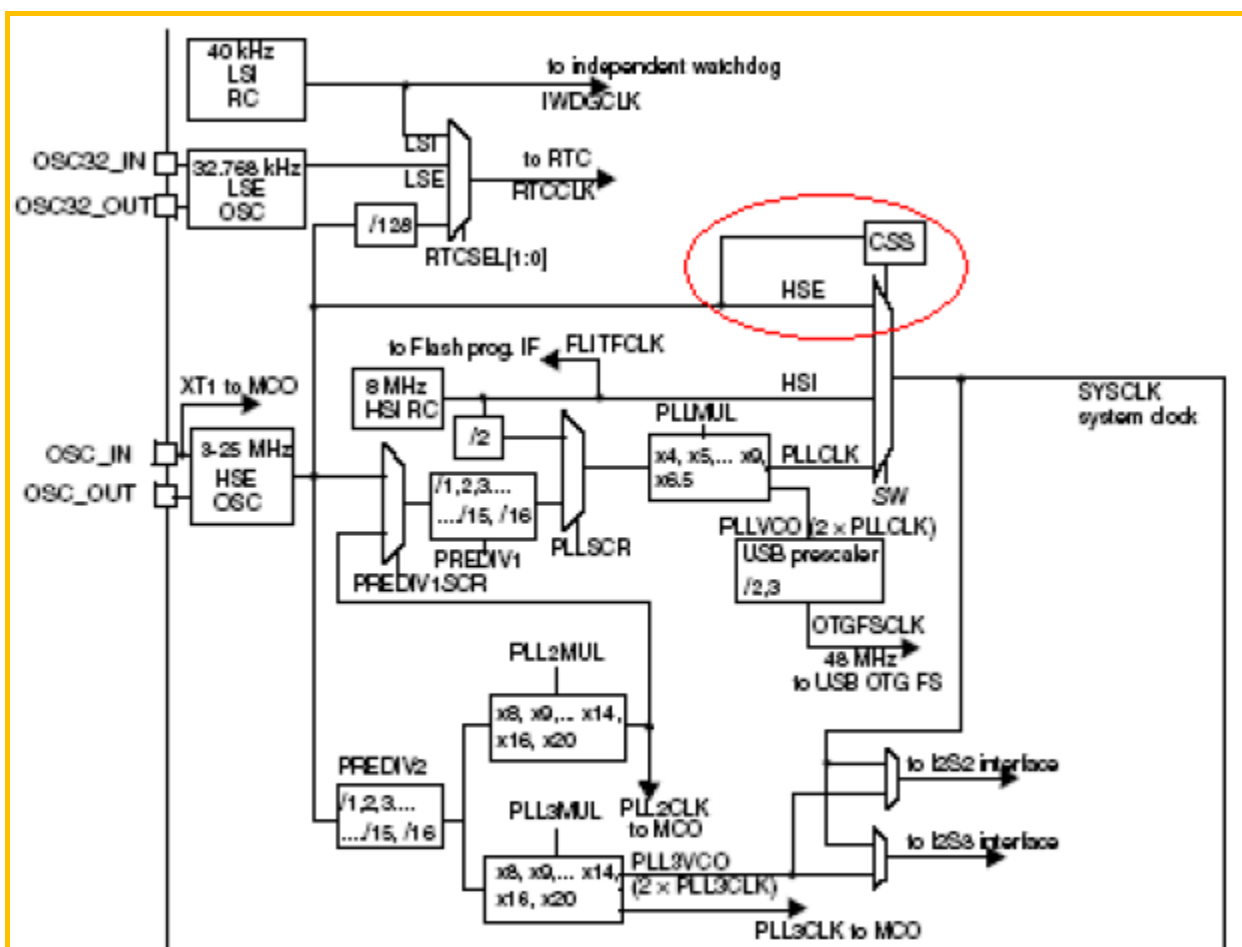


图 (二)

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。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。