

带有空片检测功能的 STM32 需注意的 GPIO 设计

关键字：空片检测，Bootloader，GPIO

1. 引言

从 STM32F0 部分型号开始，比如 STM32F04x 和 STM32F09x，STM32 越来越多的型号具有了空片检测（Empty Check）功能。以前，STM32 的启动由 BOOT0 和 BOOT1 来决定，在引入了空片检测功能之后，则在 BOOT0=0 的情况下，还需要分两种情况：一是内部已经存在代码，则从用户存储区启动；二是如果是空片，则从系统存储区启动，执行内部 Bootloader。它带来什么好处呢？客户如果是空片上板，无需对 BOOT0 引脚进行跳线，就可以直接使用内部 Bootloader 进行串口或其他通讯口进行代码烧录了，可以说非常方便。但是，这同时为 GPIO 的设计带来一个非常大的风险，在电路设计时需要引起注意，做好相应的措施。

2. 问题

2.1. 问题起源

某客户在其产品的设计中，使用 STM32G0B1RET6。有一天，客户工程师在测试电流的时候，无意间发现一个情况，说“有个比较奇怪的情况，STM32G0B1 没有烧录代码的情况下，会比有烧录代码的情况下电流多了几十毫安。”按我们以往的认知，在没有烧录代码的情况下，没有任何操作，不该会出现这种情况啊。那么这是什么情况呢？

2.2. 问题分析

测量 STM32G0B1 在没有烧录代码下的 GPIO 在悬空下的电平，可以发现有部分 GPIO 呈现为高电平，比如 PA2/PA3 和 PA9/PA10。而客户在 PA9 上接了一个外部驱动电路，由高电平驱动，所以 PA9 的高电平，带动了该部分电路的工作，导致了电流的增加。

从参考手册 RM0444 的 GPIO 一章，我们知道 STM32G0 的 GPIO 在上电后应该为模拟状态，所以这些呈现高电平的 GPIO 显得有点奇怪。

突然想起 STM32F091 等型号早就已经有的空片检测功能，就继续查看 STM32G0 的参考手册 RM0444 的“Memory and bus architecture”一章，果然，发现 STM32G0 系列同样拥有空片检测功能。也就是说，STM32G0B1 在没有烧录代码的情况下，它是要到系统存储区去执行内部 Bootloader 的。

此时，需要打开应用笔记 AN2606 《STM32 微控制器系统存储器自举模式》了解一下 STM32G0B1 在系统 Bootloader 下 GPIO 的状态。

由于之前已经检测到 PA2/PA3 和 PA9/PA10 为高电平，而这两个引脚对刚好是 Bootloader 中所用到 USART1 和 USART2 对应的 GPIO 引脚。于是，检查其在 Bootloader 中的配置状态，请参考图 1。

图1. 系统 Bootloader 下 USART1/2 的端口状态

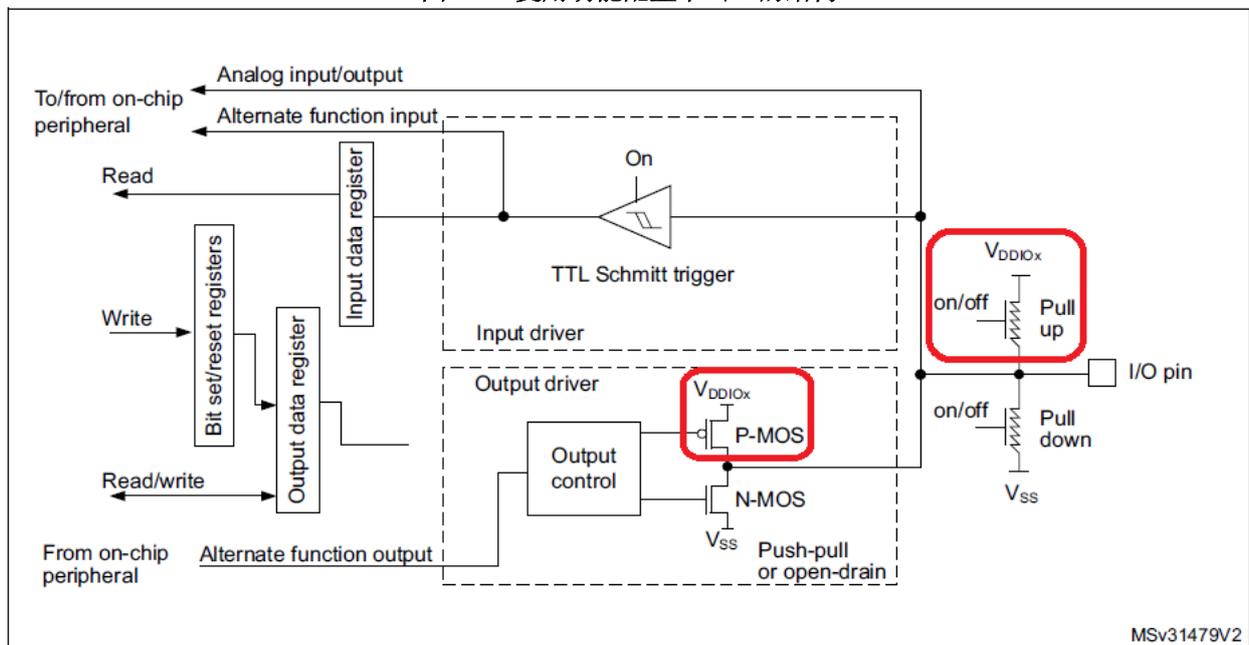
USART1 bootloader	USART1	Enabled	Once initialized the USART1 configuration is: 8-bit, even parity and 1 Stop bit
	USART1_RX pin	Input	PA10 pin: USART1 in reception mode. Used in alternate push-pull, pull-up mode.
	USART1_TX pin	Output	PA9 pin: USART1 in transmission mode. Used in alternate push-pull, pull-up mode.
USART2 bootloader	USART2	Enabled	Once initialized the USART2 configuration is: 8-bit, even parity and 1 Stop bit
	USART2_RX pin	Input	PA3 pin: USART2 in reception mode. Used in alternate push-pull, pull-up mode.
	USART2_TX pin	Output	PA2 pin: USART2 in transmission mode. Used in alternate push-pull, pull-up mode.

从图 1 中可以了解到 PA2/PA3/PA9/PA10 均配置为复用推挽结构，带上拉电阻。其中 PA10/PA3 为输入口，PA2/PA9 为输出口。

使用一个 1kΩ 的电阻来测量 PA9/PA10 的端口状态，来确定其高电平的来源。系统 VDD 的电压为 3.22V。

测量之前，需要了解一下 GPIO 的结构，如图 2。

图2. 复用功能配置下 I/O 的结构



从图 2 中可以得知，当作为输出时，端口上呈现的高电平来自 P-MOS 上的 V_{DDIOX}；当作为输入时，端口上呈现的高电平来自上拉电阻上的 V_{DDIOX}。下面来验证测试一下。

先对输出口 PA9 进行测量，使用 1kΩ 电阻串入 PA9 与 VSS 之间，并串上电流表，测得电流为 3.22mA。由 $U=I \cdot R$ 公式，刚刚好，总电阻 $R = U / I = 3.22V \div 3.22mA = 1k\Omega$ 。也就是说，PA9 的高电平由推挽结构中的 P-MOS 连接的 V_{DDIOX} 提供，内部没有电阻。

再来对输入口 PA10 进行测量，使用 1kΩ 电阻串入 PA10 与 VSS 之间，并串上电流表，测得电流为 85.4μA。总电阻 $R = U / I = 3.22V \div 85.4\mu A = 37.7k\Omega$ ，大于在外部串接的 1kΩ 电阻。也就是说，PA10 的高电平来自上拉电阻所连接的 V_{DDIOx} ，而且内部上拉电阻 $R_{PU} = 37.7k\Omega - 1k\Omega = 36.7k\Omega$ 。

多加一步再次确认输入口 PA10 的情况，这次不使用 1kΩ 电阻，而是直接将 PA10 串上电流表连接到 VSS，得到电流值为 87.7μA。内部上拉电阻 $R_{PU} = U / I = 3.22V \div 87.7\mu A = 36.7k\Omega$ ，与上面的测试是相同的。也符合 STM32G0B1 数据手册中内部上拉电阻的范围，如图 3。

图3. I/O 的上下拉电阻参数

R_{PU}	Weak pull-up equivalent resistor ⁽⁵⁾	$V_{IN} = V_{SS}$	25	40	55	kΩ
R_{PD}	Weak pull-down equivalent resistor ⁽⁵⁾	$V_{IN} = V_{DDIOx}$	25	40	55	kΩ

2.3. 存在的风险

到此，已经清楚用户存储区没有烧录代码的时候，STM32 启动将进入系统 Bootloader，PA9 被设置为复用输出并输出高电平，从而推动外部电路产生的电流增加。但是我们应该更加深入地研究这个问题。客户的情况还算是比较好的，接的是一个驱动电路，并不会带来损坏。

想象一下，如果在客户的应用中，PA9 是用作输入口，用来连接一个传感器的中断输出，比如连接 3 轴 MEMS 加速度计 LIS2DH12 的 INT1/2 引脚。查看 LIS2DH12 的数据手册，可以得知 INT1 和 INT2 引脚的初始状态是输出低电平的，如图 4。

图4. LIS2DH 的 INT1/INT2 引脚初始状态

11	INT2	Interrupt pin 2	Default: push-pull output forced to GND
12	INT1	Interrupt pin 1	Default: push-pull output forced to GND

由于 LIS2DH12 的 INT 引脚初始状态是推挽输出且输出低电平，如果直接连接到 PA9，而用户打算将空片先焊接于用户板，再进行代码烧录的话，那么，当上电的时候，LIS2DH12 的 INT 引脚输出低电平，而 STM32G0B1 进入内部 Bootloader 后 PA9 输出高电平，直连将导致短路，电流从 STM32G0B1 的 PA9 内部的 V_{DDIOx} 经过 P-MOS，从 PA9 引脚出来，经过连接线，到达 LIS2DH12 的 INT 引脚，从内部的 M-MOS 流到 V_{SS} ，中间因为没有电阻而造成短路，很可能会对芯片产生损坏。所以必须加以注意！

PA10 作为复用输入功能，倒是没有这个风险。

3. 结论

由于空片检测功能的存在，带有此功能的 STM32 型号在空片的情况下启动，将会进入系统存储区，执行内部 Bootloader。内部 Bootloader 会将部分 GPIO 设置为复用功能输出引脚并输出高电平或低电平，如果此引脚在用户应用中作为输入引脚连接到外部芯片的输出引脚，那么 STM32 空片事先焊接于用户板时，上电将可能带来极大的风险。在 GPIO 设计中如遇到有空片检测功能的 STM32 必须对此加以注意。

4. 解决办法

两种解决办法供用户选择。

- 1) 在两个芯片的连接中串入电阻进行保护，流经此电阻的电流必须要低于 GPIO 的注入电流，而且还必须保证不影响双边的高低电平识别。
- 2) 在使用带有空片检测功能的 STM32 型号中，在硬件设计上要预先检查 AN2606 中所描述的 Bootloader 使用并配置的复用功能输出引脚，在 GPIO 设计时避免在用户应用中将其作为输入引脚。

以上两种方法，推荐使用第二种方法，更简单、更稳妥。

参考文献

文件编号	文件标题	版本号	发布日期
DS13560	Arm® Cortex®-M0+ 32-bit MCU, up to 512KB Flash, 144KB RAM, 6x USART, timers, ADC, DAC, comm. I/Fs, 1.7-3.6V	Rev 1	13-Nov-2020
RM0444	STM32G0x1 advanced Arm®-based 32-bit MCUs	Rev 5	20-Nov-2020
AN2606	STM32 microcontroller system memory boot mode	Rev 49	06-Jul-2021
DS9852	MEMS digital output motion sensor: ultra-low-power high-performance 3-axis "femto" accelerometer	Rev 6	05-May-2017

版本历史

日期	版本	变更
2021年10月28日	1.0	首版发布

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。

本文档是 ST 中国本地团队的技术性文章，旨在交流与分享，并期望借此给予客户产品应用上足够的帮助或提醒。若文中内容存有局限或与 ST 官网资料不一致，请以实际应用验证结果和 ST 官网最新发布的内容为准。您拥有完全自主权是否采纳本文档（包括代码，电路图）信息，我们也不承担因使用或采纳本文档内容而导致的任何风险。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。