

适用于 STM32 MCU 和 MPU 的 USB Type-C® Power Delivery 简介

引言

本应用笔记是将 USB Type-C® Power Delivery 与 STM32 MCU 和 MPU 及 TCPP01-M12（用于电源 sink）、TCPP02-M18（用于电源 source）、TCPP03-M20（用于双角色电源保护电路）结合使用的指南。此外，还介绍了两个全新的 USB Type-C® 和 USB Power Delivery 标准的一些基本概念。

USB Type-C® 技术提供了一个单一平台的连接器，可传输所有必要的数字数据。这种新型的可正反插的连接器使插头插入操作更方便用户使用。使用 Power Delivery 协议，可协商输出最高 100 W 的功率，为连接到 USB 端口的设备供电或充电。其目的是减少对线缆和连接器的需求，方便使用通用充电器。

USB Type-C® 连接器原生可支持到 15 W（5 V 时最高 3 A）的功率，通过可选的 USB Power Delivery 功能可扩展至 100 W（20 V 时最高 5 A）。

1 概述

本文档适用于基于 Arm® Cortex®-M 处理器的 STM32 MCU 和 MPU。

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

arm

1.1 缩写和缩略语

缩略语	意义
AMS	原子消息序列
APDO	增强型 Power Delivery 对象
BMC	双相标记编码
BSP	板级支持包
CAD	线缆检测模块
DFP	下行端口
DPM	设备策略管理器
DRP	双角色电源
DRS	数据角色交换
GF	通用
GUI	图形用户界面
HAL	硬件抽象层
HW	硬件
LL	底层
MSC	消息序列图
OVP	过电压保护
PDO	Power Delivery 对象
PE	策略引擎
PRL	物理协议层
PRS	电源角色交换
SNK	Power sink
SRC	Power source
UCPD	USB Type-C Power Delivery
UCSI	USB Type-C® 连接器系统软件接口
UFP	上行端口
VDM	供应商定义消息
FWUP	固件更新
PPS	可编程电源
TCPM	Type-C 端口管理器
TCPC	Type-C 端口控制器
TVS	瞬态电压抑制

1.2 参考文献

表 1. 意法半导体生态系统文档

参考	文件标题
意法半导体生态系统文档	
[1]	使用 STM32 微控制器 UM2552 管理 USB Power Delivery 系统
[2]	适用于 USB Type-C® Power Delivery 端口管理的 STM32CubeMonitor-UCPD 软件工具, UM2468
[3]	TCP01-M12 USB Type-C® 端口保护, DS12900
[4]	TCP02-M18 USB Type-C® 端口保护, DS13787
[5]	TCP03-M20 USB Type-C® 端口保护, DS13618
[6]	USB Type-C® 保护和滤波, AN4871
[7]	适用于 USB Type-C® Power Delivery 端口管理的 STM32CubeMonitor-UCPD 软件工具, DB3747
[8]	USB Type-C® 和 Power Delivery DisplayPort 复用模式, TA0356
[9]	USB Type-C® 和 Power Delivery 技术概述, TA0357
[10]	在电池供电应用中集成 STM32MP151/153/157 MPU 线路和 STPMIC1B, AN5260
[11]	使用 STM32 MCU 的 USB 硬件和 PCB 指南简介, AN4879
[12]	用于 STM32 Nucleo 的基于 TCP03-M20 的 X-NUCLEO-DRP1M1 USB Type-C® Power Delivery 双角色端口扩展板入门, UM2891
[13]	用于 STM32 Nucleo 的基于 TCP02-M18 的 X-NUCLEO-SRC1M1 USB Type-C® Power Delivery source 扩展板入门, UM2973
[14]	STM32 USB Power Delivery 登录页面 https://www.st.com/content/st_com/zh/ecosystems/stm32-usb-c.html
[15]	STM32 USB Power Delivery 维基页面 https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Introduction_to_USB_Power_Delivery_with_STM32
USB 规范文档	
[16]	USB2.0 通用串行总线规范第 2.0 版
[17]	USB3.1 通用串行总线规范第 3.2 版
[18]	USB BC 电池充电规范第 1.2 版
[19]	Billboard 设备的 USB BB USB 设备类定义
[20]	通用串行总线 Power Delivery 规范, 修订版 2.0, 版本 1.3, 2017 年 1 月 12 日
[21]	用串行总线 Power Delivery 规范, 修订版 3.1, 版本 1.7, 2023 年 1 月
[22]	通用串行总线 Type-C 线缆和连接器规范 2.0, 2019 年 8 月
[23]	USB Billboard 设备类定义, 修订版 1.0, 2014 年 8 月 11 日, http://www.usb.org/developers/docs
[24]	USB Type-C® 连接器系统软件接口规范、要求规范 (UCSI), 2020 年 1 月, 修订版 1.2

2 USB Type-C 概述

USB Implementer Forum (USB-IF) 提出了两种互补的规范:

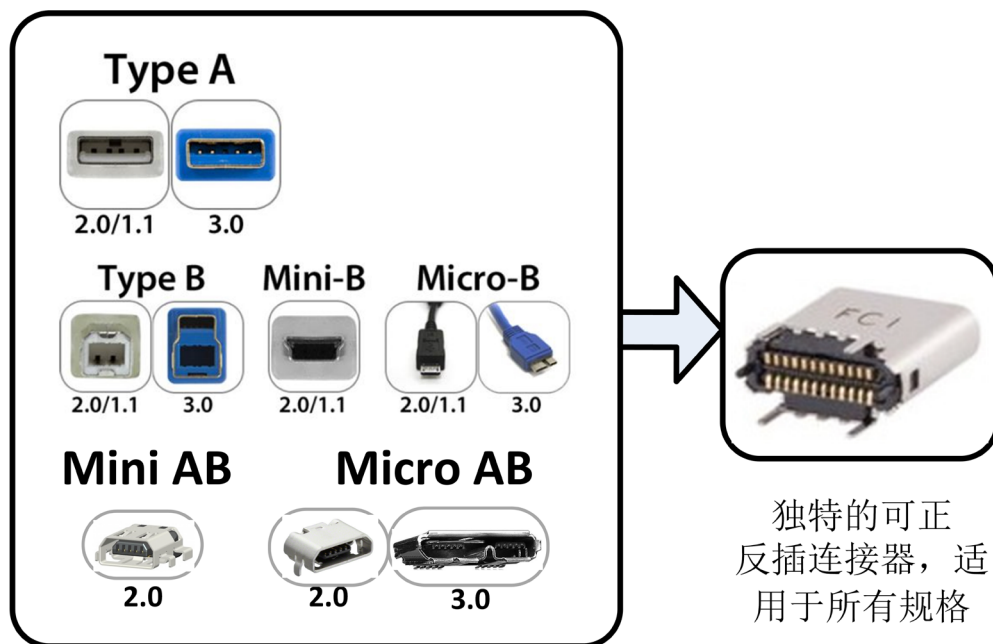
- USB Type-C® 线缆和连接器规范 1.3 版详细介绍了基于高速 USB2.0 信号的可逆式超薄连接器系统和两个速率高达 10 Gbit/s 的超高速通道, 该系统还可用于支持复用模式。
- USB Power Delivery (PD) 规范修订版 2.0 和 3.0 详细介绍了如何将 4.5W (VBUS 900mA@5V) 的电源端或者消费端转换为 100W (最高 5A@20V)。

新型 24 引脚 USB Type-C® 连接器设计为无极性且完全可正反插, 任意插入方向均有效。

它支持 Power Delivery 提供的所有高级功能:

- 协调电力角色
- 协商供电和耗电水平
- 执行主动线缆识别
- 交换供应商特定的边带消息
- 执行复用模式协商, 允许将第三方通信协议传送到 USB Type-C® 线缆的可重新配置引脚上

图 1. USB 连接器



多种连接器, 支持各种 USB 数据

还应注意以下几点:

- USB Type-C® 线缆两端使用相同的插头。
- USB Type-C® 支持从 USB2.0 开始的所有早期协议, 包括驱动程序协议栈和供电功能。
- 这款新型连接器尺寸小巧 (宽 8.4 mm, 高 2.6 mm)。

如图 1. USB 连接器所示，新版 USB Type-C® 插头涵盖了旧版插头的功能，既确保了灵活性又简化了应用。USB Type-C® 端口可以只用作主机、设备或具有双重功能。使用 USB PD 协议指令，数据和电源角色可独立、动态地交换。

2.1 USB Type-C® 术语

USB Type-C® 体系的常用术语有：

- **供电端 (SOURCE 端)：**端口电源角色。在 CC 引脚（命令控制引脚，请参见图 3. 上拉/下拉 CC 检测）上暴露 R_p （上拉电阻，请参见第 4 节 CC 引脚）并通过 VBUS（5 V 至 20 V，最大 5 A）供电的端口，最常见的是主机或集线器下行端口（如传统的 Type-A 端口）。
- **受电端 (SINK 端或耗电端)：**端口电源角色。在 CC 引脚上暴露 R_d （下拉电阻，请参见图 3. 上拉/下拉 CC 检测）并消耗来自 VBUS 的功率（5 V 至 20 V，最高 5 A）的端口，最常见的是设备（如传统的 Type-B 端口）。
- **双角色电源 (DRP) 端口：**可充当 source 或 sink 角色的端口，支持动态反转。
- **下行端口 (DFP)：**端口数据角色。USB 树中较高级别的 USB 端口，如 USB 主机或集线器扩展。
- **上行端口 (UFP)：**端口数据角色。USB 树中较低级别的 USB 端口，如 USB 设备或集线器主端口。

2.2 最小强制功能集

不必实现和支持 Type-C 和 Power Delivery 规范中定义的所有高级功能。

必须支持的功能包括：

- 线缆插入和拔除检测
- 插头方向/线缆扭结检测
- USB2.0 连接

3 连接器引脚映射

24 引脚 USB Type-C® 连接器包括:

- 对称连接:
 - USB2.0 差分对 (D+/D-)
 - 电源引脚: VBUS/GND
- 非对称连接:
 - 两组 Tx/Rx 信号路径, 支持 USB 3.1 数据速率
 - 用于发现、配置和管理 USB Type-C® Power Delivery 的配置通道 (CC 线路)
 - 两个边带使用信号 (SBU 线路), 用于模拟音频模式或复用模式

图 2. 插座引脚排列

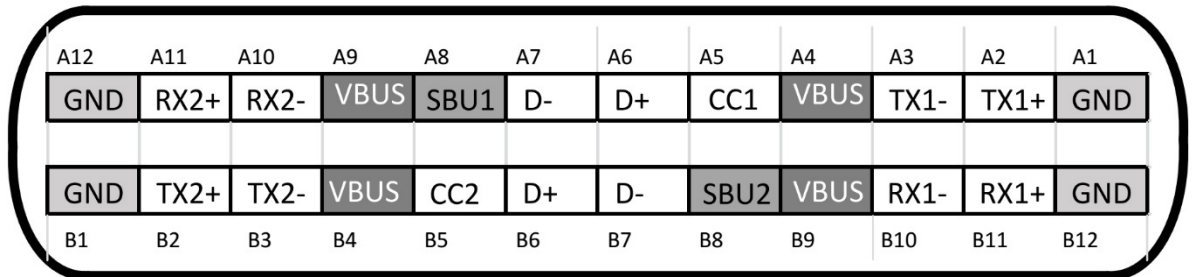


表 2. USB Type-C 插座引脚说明

引脚	名称	说明	备注
A1	GND	接地回路	最高 5 A, 分为 4 个引脚
A2	TX1+	USB3.0 数据线或复用	USB3.1 中的 10 Gbit/s TX 差分对
A3	TX1-		
A4	VBUS	总线电源	最大功率 100 W, 分为 4 个引脚
A5	CC1 或 VCONN	配置通道, 或给 E-Mark 线缆供电	在 VCONN 配置中, 最低功耗为 1 W
A6	D+	USB2.0 数据线	
A7	D-		
A8	SBU1	边带使用	仅复用模式
A9	VBUS	总线电源	最大功率 100 W, 分为 4 个引脚
A10	RX2-	USB3.0 数据线或复用	USB3.1 中的 10 Gbit/s RX 差分对
A11	RX2+		
A12	GND	接地回路	最高 5 A, 分为 4 个引脚
B1	GND	接地回路	最高 5 A, 分为 4 个引脚
B2	TX2+	USB3.0 数据线或复用	USB3.1 中的 10 Gbit/s TX 差分对
B3	TX2-		

引脚	名称	说明	备注
B4	VBUS	总线电源	最大功率 100 W，分为 4 个引脚
B5	CC2 或 VCONN	配置通道，或给 E-Mark 线缆供电	在 VCONN 配置中，最低功耗为 1 W
B6	D+	USB2.0 数据线	↓
B7	D-		↓
B8	SBU2	边带使用	仅复用模式
B9	VBUS	总线电源	最大功率 100 W，分为 4 个引脚
B10	RX1-	USB3.0 数据线或复用	USB3.1 中的 10 Gbit/s RX 差分对
B11	RX1+		
B12	GND	接地回路	最高 5 A，分为 4 个引脚

3.1 VBUS 供电选项

VBUS 在主机和设备之间以及充电器和主机或设备之间提供输电路径。

从带有 USB Type-C® 连接器的设备角度来看，可用的电源选项如下。

表 3. 供电选项

工作模式	标称电压	最大电流	注释
USB2.0	5 V	500 mA	基于规范的默认电流
USB3.1	5 V	900 mA	
USB BC1.2	5 V	1.5 A	传统充电方式
电流 @1.5 A	5 V	1.5 A	支持高功率设备
电流 @3 A	5 V	3 A	
USB PD	5 V 至 20 V	5 A	方向控制和功率水平管理

注：在额定线缆电流（3 A 或 5 A）条件下，USB Type-C® 到 Type-C™ 线缆组件的 VBUS 需要 20 V DC 保护。

4 CC 引脚

Type-C 连接器上有两个 CC 引脚（CC1 和 CC2），但线缆内部实际只有一根 CC 线有效。在 CC1 和 CC2 上，SOURCE 端必须暴露 R_p 上拉电阻，而 SINK 端必须暴露 R_d 下拉电阻。E-Mark 线缆需要在 V_{CONN} 上提供一个接地电阻 R_a 。

从 SOURCE 端的角度来看，可通过参见表 4 来确定连接设备的状态。

表 4. 连接设备状态 - SOURCE 端视角

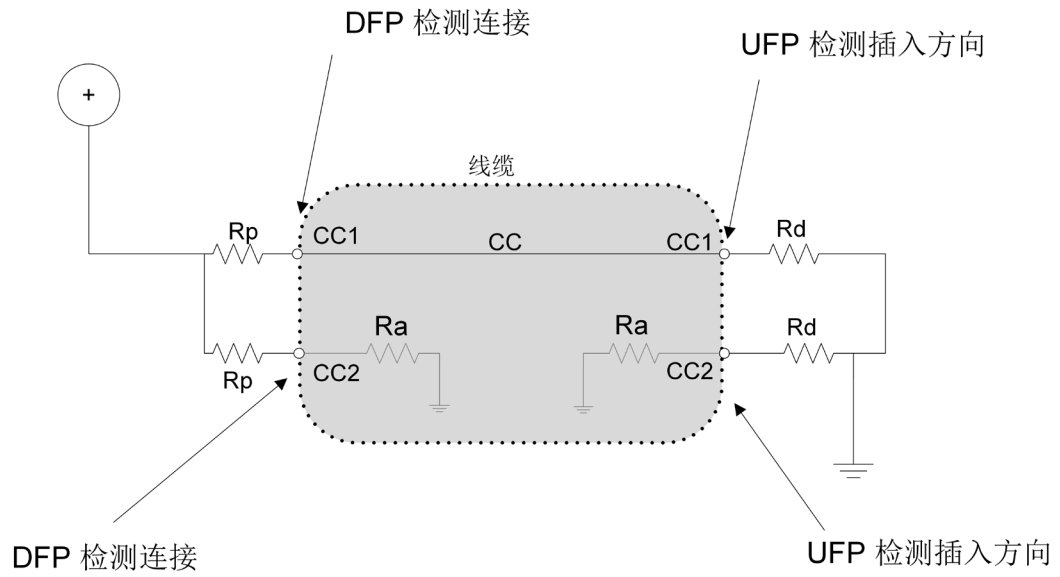
CC1	CC2	状态
开路	开路	未连接任何设备
R_d	开路	连接了 SINK 端
开路	R_d	
开路	R_a	未连接 SINK 端的供电线缆
R_a	开路	
R_d	R_a	连接了 SINK 端、 V_{CONN} 供电附件 (VPA) 或 V_{CONN} 供电 USB 设备 (VPD) 的供电线缆。
R_a	R_d	
R_d	R_d	连接了调试模式附件
R_a	R_a	连接了音频适配器模式附件

4.1 插头方向/线缆扭结检测

由于 USB Type-C® 线缆插头可从任何方向插入插座，因此必须先检测方向。使用 R_p/R_d 电阻通过 CC 线路执行检测。

首先，DFP 在其 CC 引脚上暴露 R_p 终端，而 UFP 在其 CC 引脚上暴露 R_d 终端。为了检测连接情况，DFP 监视两个 CC 引脚（见 [22] 中的图 4-30）。

图 3. 上拉/下拉 CC 检测



4.2 功率能力检测和使用

在默认的 USB 标准的基础上，Type-C 还提供 1.5 A 和 3 A 的更大电流能力。

端口向设备供电的电流能力取决于 DFP 上的上拉电阻 R_p 值。高电流 (5 A) 能力是通过 USB PD 协议协商确定的。

表 5 显示了可能的值，如 [22] 所示。

表 5. DFP CC 终端 (R_p) 的要求

V_{BUS} 电源	电流源至 1.7 V - 5.5 V	R_p 上拉至 4.75 V - 5.5 V	R_p 上拉至 3.3 V +/-5%
默认 USB 供电	80 mA \pm 20%	56 k Ω \pm 20% ⁽¹⁾	36 k Ω \pm 20%
1.5 A @ 5 V	180 mA \pm 8%	22 k Ω \pm 5%	12 k Ω \pm 5%
3.0 A @ 5 V	330 mA \pm 8%	10 k Ω \pm 5%	4.7 k Ω \pm 5%

1 在 USB Type-C 插头中实现 R_p 时，如果在 USB Type-C 转 USB 3.1 标准 A 线缆组件、USB Type-C 转 USB 2.0 标准 A 线缆组件、USB Type-C 转 USB 2.0 Micro-B 插座适配器组件或者连接到 USB 主机的 USB Type-C 固定式线缆上使用该插头，则应使用 56 k Ω \pm 5% 的值，以便为线缆组件中 V_{BUS} 和 GND 上的 IR 下降提供容差。

UFP 必须在 CC1 和 CC2 上暴露 R_d 下拉电阻，以便使检测系统偏置并被识别为 SINK 角色，参考 [22]。

表 6. UFP CC 终端 (R_d) 的要求

R_d 实现	标称值	能否检测供电能力?	CC 引脚上的最大电压
\pm 20% 电压钳位	1.1 V	否	1.32 V
\pm 20% 电阻至 GND	5.1 k Ω	否	2.18 V
\pm 10% 电阻至 GND	5.1 k Ω	是	2.04 V

为了确定 DFP 的供电能力，UFP 精确监视 CC 线路电压，如 [22] 所示。

表 7. Sink CC 引脚上的电压

检测	最小电压 (V)	最大电压 (V)	阈值 (V)
v_{Ra}	-0.25	0.15	0.2
$v_{Rd-Connect}$	0.25	2.04	1
v_{Rd-USB}	0.25	0.61	0.66
$v_{Rd-1.5}$	0.70	1.16	1.23
$v_{Rd-3.0}$	1.31	2.04	1

5 功率曲线

USB Power Delivery 协议支持高级电压和电流协商，可提供最高 100 W 的功率，具体定义见 [21]，报告见下图：

图 4. 功率曲线

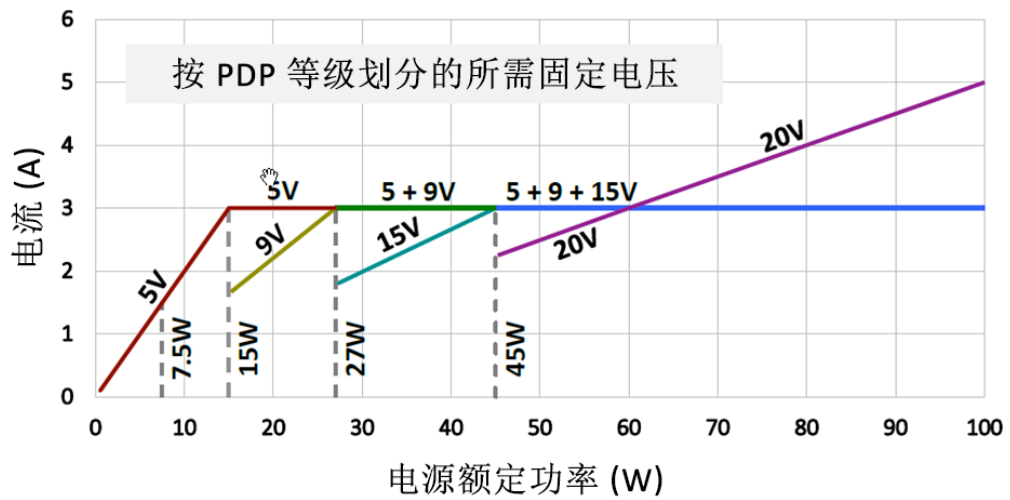


表 8 显示了允许选择的电压源和可编程电源 (PPS) 与线缆额定电流的函数关系。

表 8. 固定和可编程电源电流及布线要求

电源电压范围	固定电压源				可编程电源 (PPS)			
	5 V	9 V	15 V	20 V	5 V (3.3 V 至 5.9 V)	9 V (3.3 V 至 11 V)	15 V (3.3 V 至 16 V)	20 V (3.3 V 至 21 V)
使用 3 A 线缆								
0 W < PDP ≤ 15 W	PDP / 5	■	■	■	PDP / 5	■	■	■
15 W < PDP ≤ 27 W	3.0 A	PDP / 9	■	■	3.0 A	PDP / 9	■	■
27 W < PDP ≤ 45 W	3.0 A	3.0 A	PDP / 15	■	3.0 A	3.0 A	PDP / 15	■
45 W < PDP ≤ 60 W	3.0 A	3.0 A	3.0 A	PDP / 20	3.0 A	3.0 A	3.0 A	PDP / 20
使用 5 A 线缆								
60 W < PDP ≤ 100 W	3.0 A	3.0 A	3.0 A	PDP / 20	3.0 A	3.0 A	3.0 A	PDP / 20

更多信息，请参见 [21] 和 [22]。

6 USB Power Delivery 2.0

在 USB PD 协议中，直连的两个端口通过 USB 线缆协商电压、电流和/或供电，以及数据流方向。CC 线用作 BMC 编码的通信通道。

这种机制与以往任何 USB 电源协商方法均不同。

6.1 Power Delivery 信令

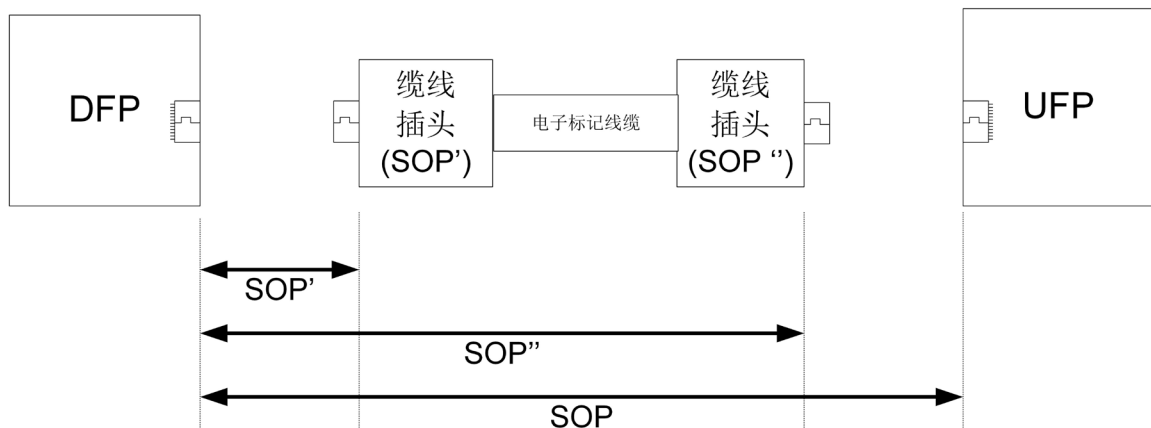
所有通信均通过一条 CC 线路以 300 Kbit/s 的半双工模式进行。通信通过 CC 线路使用 BMC 编码的 32 位 4b/5b 字。

6.1.1 数据包结构

数据包格式如下：

- 前导码：0s 与 1s 交替的 64 位序列，用于与发射器同步。
- SOP*：数据包起始。可以是 SOP、SOP'（包开始序列单引号）或 SOP''（包开始序列双引号），请参见图 5. SOP* 信令。
 - SOP 数据包仅限于具有 PD 功能的 DFP 和 UFP
 - SOP' 数据包用于与连接到 DFP 的线缆插头通信
 - SOP'' 数据包用于与连接到 UFP 的线缆插头通信。
- 具有 SOP' 或 SOP'' 通信功能的线缆插头必须只检测并传输以 SOP' 或 SOP'' 开头的数据包。
- 消息数据包含消息头，它标识了数据包类型和数据量
- CRC：错误校验
- EOP：包结束，唯一标识符。

图 5. SOP* 信令



6.1.2 K 码

K 码是 4b/5b 编码提供的特殊符号。它们是硬复位、线缆复位和划定数据包边界的信号。

6.2 协商供电

DFP 初始被视为总线主设备。

该协议层允许动态修改电源配置。

如果两个端口都支持双电源角色功能，则可各自实现电源角色、数据角色和 VCONN 交换。

VBUS 上的默认电压始终为 5 V，并且可重新配置为最高 20 V。

默认电流能力首先由 R_p 值定义，对于 E-Mark 线缆，可重新配置为最高 5 A。

PD 协议通信包以 SOP 包头开始，它以一个编码符号开头（K 码）。

SOP 通信包含控制或数据消息。

控制消息的大小固定为 16 位，用于管理数据流。

数据消息的大小取决于它的内容。它提供与数据对象相关的信息。

7 USB Power Delivery 3.0

从电源角度看，USB PD 2.0 和 USB PD 3.0 没有区别。所有 USB PD 3.0 设备都能与 USB PD 2.0 设备协商电源协议，反之亦然。USB PD 3.0 增加了以下主要功能：

- 快速角色交换
- 身份验证
- 固件更新
- 可编程电源 (PPS)，支持以 SINK 设备为导向的充电

下面汇总了 USB PD 3.0 和 USB PD 2.0 规范之间的主要变化：

- 必须同时支持修订版 2.0 和 3.0 操作，以确保与现有产品的向后兼容性。
- 配置文件已弃用，取而代之的是 PD 电源规则。
- BFSK 支持也已弃用，包括传统线缆、传统连接器、传统电池耗尽操作和相关测试模式。
- 扩展消息的数据有效负载最高可达 260 字节。
- 只允许 VCONN 供电方与线缆插头通信。
- SOURCE 端协调的冲突避免方案，该方案使得 SOURCE 设备或者 SINK 设备能够启动原子消息序列 (AMS)。
- 快速角色交换的定义是，当外部电源移除时，外部供电的基座和集线器可快速切换到总线供电。
- 额外的状态及发现：
 - 电池扩展的能力及状态
 - 电池能力及状态
 - 制造商定义的信息
- 对于无源线缆、有源线缆，以及复用模式相关的 VDO 对象（供应商定义对象）中的字段更改，通过结构化的 VDM 消息（版本 2.0）来体现。
- 支持 USB 安全相关请求和响应。
- 支持 USB PD 固件更新请求和响应。

系统策略现在参考 USBTypeCBridge 1.0。

8 复用模式 (Alternate Mode)

所有使用 USB Type-C® 插座的主机和设备（充电器除外）应提供 USB 接口。

如果主机或设备可选地支持复用模式：

- 主机和设备使用结构化的 VDM 消息来发现、配置以及进入/退出模式，以启动复用模式。
- 强烈建议设备在存在等效 USB 功能的情况下提供该功能，以实现最佳的用户体验。
- 在未实现等效 USB 功能的情况下，设备必须提供一个 USB Billboard 设备类的 USB 接口，以提供识别设备所需的信息。对于非面向用户的模式（例如诊断模式），设备无需提供 USB Billboard 设备类的 USB 接口。

由于复用模式不通过 USB 集线器拓扑结构，因此它只能在直接连接的主机和设备之间使用。

8.1 复用引脚重新分配

在图 6 中，黄色突出显示的引脚是全功能电缆中唯一可以重新配置的引脚。

图 6. 全功能电缆上可用于重新配置的引脚

A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1
GND	RX2+	RX2-	VBUS	SBU1	D-	D+	CC	VBUS	TX1-	TX1+	GND
GND	TX2+	TX2-	VBUS	VCONN			SBU2	VBUS	RX1-	RX1+	GND
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12



 可配置引脚

图 7 展示了适用于直接连接应用场景中可进行重新配置的引脚。与图 6 相比，这里多了三个引脚，这是因为此配置不受电缆布线的限制。

图 7. 适用于直接连接应用的可重新配置引脚

A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1
GND	RX2+	RX2-	VBUS	SBU1	D-	D+	CC	VBUS	TX1-	TX1+	GND
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
GND	TX2+	TX2-	VBUS	VCONN			SBU2	VBUS	RX1-	RX1+	GND

 可配置引脚

注：如果不支持复用模式，**SBU** 可以保持开路。支持复用模式时，需添加一个大于 **4 MΩ** 的电阻，以确保 **USB** 安全状态。

8.2 Billboard

USB Billboard 设备类定义描述了用于将设备容器支持的复用模式传输给主机系统的方法。

这包括字符串描述符，以人类可读的格式提供支持细节。

更多详细信息，请参见 [23]。

9 产品提供

STM32 MCU 和 STM32 MPU 通过使用 STM32 集成的 UCPD (USB Type-C Power Delivery) 外设或一组通用 (GP) 外设来处理 USB Type-C / USB Power Delivery 接口。请参见 [USB Type-C](#) 和 [Power Delivery](#) 应用页面。

图 8. USB Type-C Power Delivery 框图

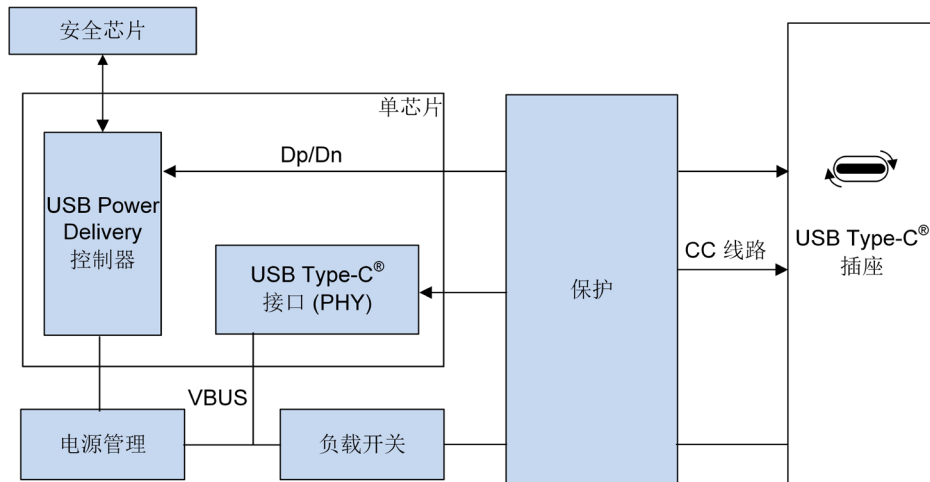


图 9. STM32G0 探索套件 USB Type-C 分析仪



STM32 MPU 产品特性

对于 STM32 MPU 产品，请考虑以下几点：

- 只有 Cortex-A7 内核支持 USB。Cortex-M4 内核不支持 USB。
- 为了与 Linux 框架兼容，USB Type-C 由外部设备管理。请参见 MB1272-DK2-C01 板件原理图，了解使用 STUSB1600 芯片组的 CN7 实现（与使用 ADC 的 CN6 实现相反）。

有关更多信息，请参见 [9] 中的“使用 USB Type-C® 插座的 USB 端口”一节。

10 不帶 Power Delivery 功能的 Type-C

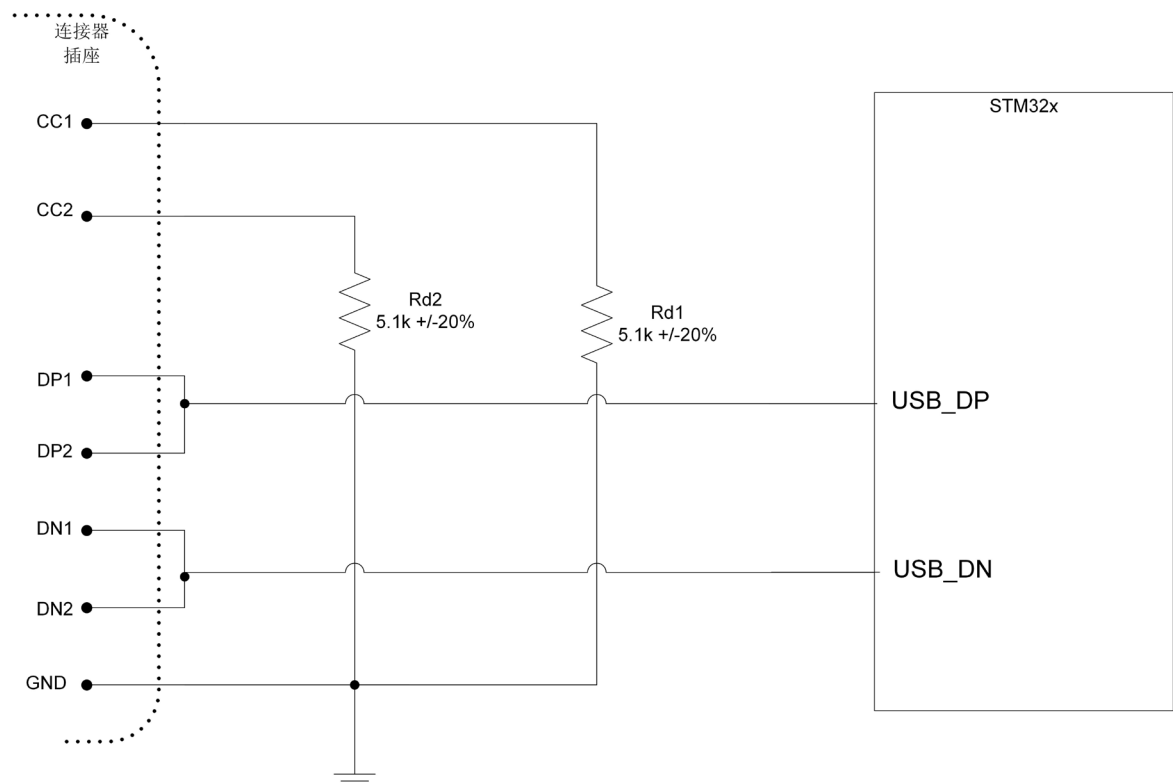
本章可能不完全适用于 STM32 MPU 产品。有关特性，请参见第 9 节“产品提供”。

10.1 从 STM32 USB2.0-only 设备功能转换到 USB Type-C 平台

对于传统的 USB 2.0 设备而言，若要将自身展现为上行端口 (UFP)，需借助在 CC（配置通道）线与地之间连接下拉电阻 R_d 的方法来实现。在此情形下，由于这里假定所需电流为传统 USB 2.0 设备所能提供的最大电流，故无需对 CC 线进行监测。

由于插头是可正反插的，所以在将两对 DP/DN 线路连接到 STM32 设备之前，这两对线路需要在尽可能靠近插座的位置相互连接。

图 10. 使用 USB Type-C 插座的传统设备



10.2 从 STM32 USB2.0 主机功能转换到 USB Type-c 平台

本用例介绍如何将 USB2.0 标准 A 插座切换为 USB Type-C® 插座。

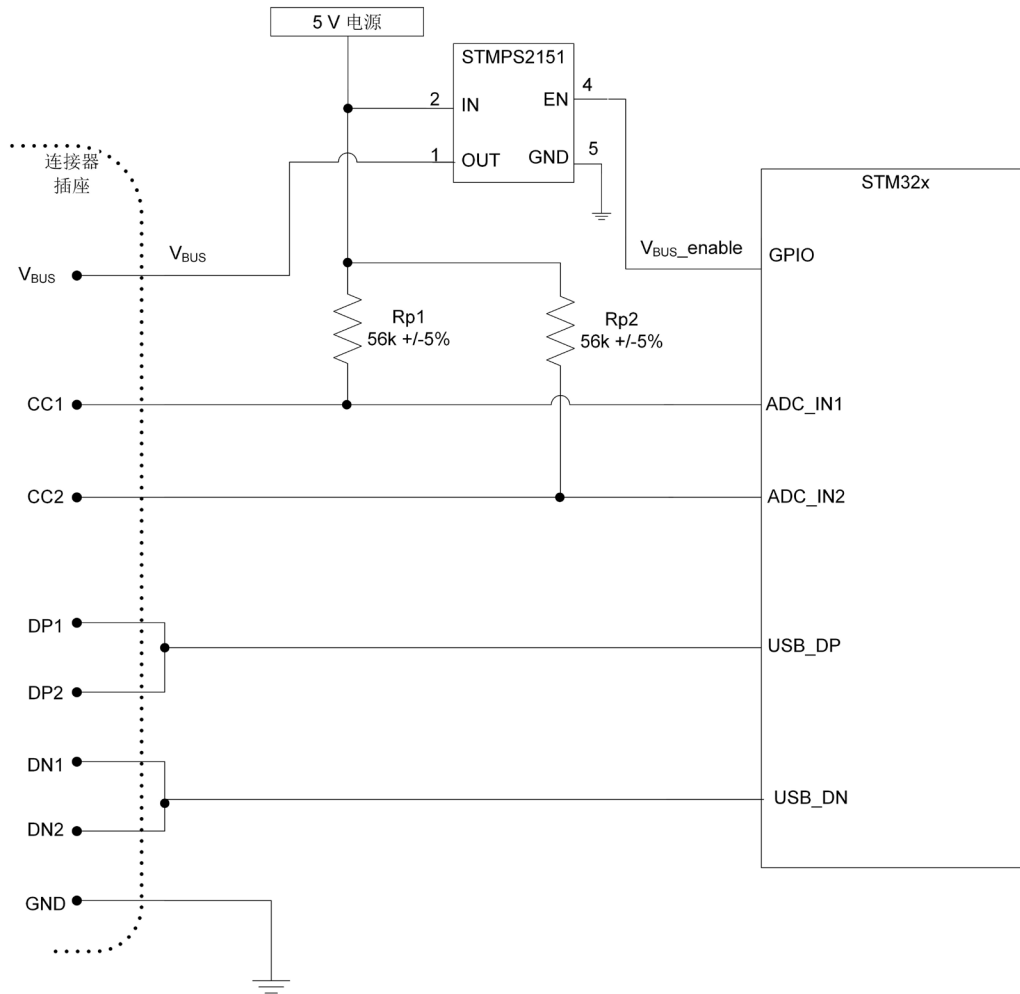
由于该平台是为 USB2.0 设计的，其最大电流承载能力为 500 毫安。如果在应用中可以提供更高的供电电流，那么可以对 R_p 电阻进行调整，以实现 1.5A 或 3A 的供电能力。

传统的 USB 2.0 主机需要通过在 CC（配置通道）线与 5V 电源之间连接一个上拉电阻 R_p 的方式，将自身配置为下行端口 (DFP)。

由于插头是可正反插的，在将两对 DP/DN 线路连接到 STM32 设备之前，这两对线路需要在尽可能靠近插座的位置相互连接。

通过 ADC_IN 输入来监测 CC 线，能够实现设备连接检测，并开启连接器上的 VBUS。

图 11. 使用 USB Type-C 插座的传统主机



10.3 从 STM32 传统 USB2.0 OTG 功能转换到 USB Type-c 平台

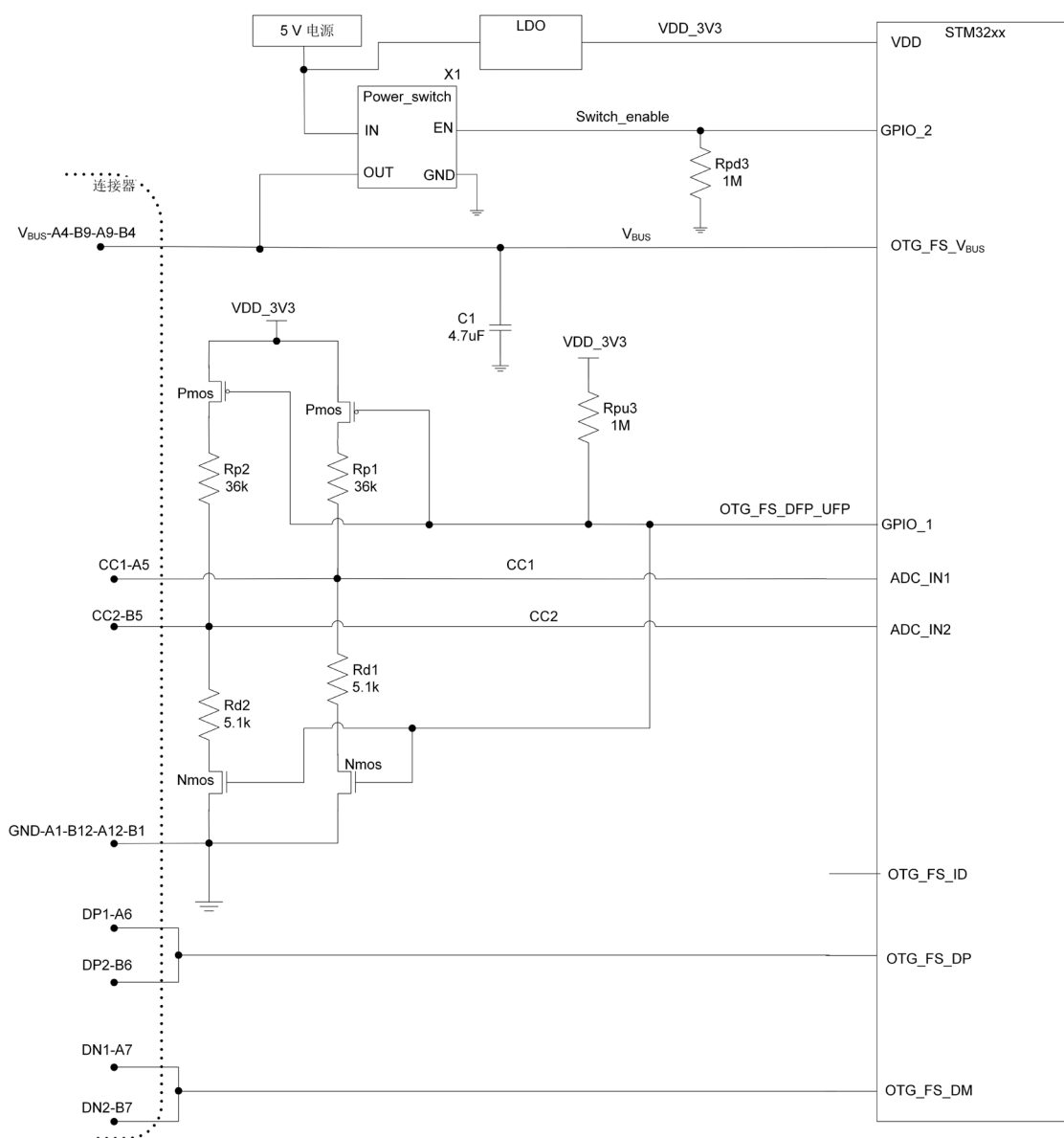
本用例说明如何将 USB2.0 micro-AB 插座切换为 USB Type-C® 插座。

在本用例中，由于该平台是为 USB2.0 设计的，其最大电流承载能力为 500 毫安。如果在应用中可以提供更高的供电电流，那么可以对 R_p 电阻进行调整，以实现 1.5A 或 3A 的供电能力。

传统 OTG 平台开始作为主机或设备工作，具体取决于线缆提供的 USB_ID 引脚对地阻抗。

USB Type-C® 接口是完全可正反插的，因此线缆不会提供任何角色信息。设备角色需要通过感应 CC 线来检测（例如，通过 ADC 的 ADC_IN1 和 ADC_IN2 输入引脚来检测 CC 线路电平）。

图 12. 使用 USB Type-C 插座的传统 OTG



建议的顺序如下：

1. 将 GPIO1 连接到 OTG_FS_DFP_UFP 驱动高电平，将 GPIO2 连接到 Switch_enable 驱动低电平，以将平台识别为 UFP。
2. 如果检测到 VBUS，该平台让 USB2.0 控制器作为设备角色启动。
3. 如果在 200 ms（最小值）后没有检测到 VBUS，OTG_FS_DFP_UFP 将被拉低，以便通过 Rp 电阻识别为 DFP，并通过比较 ADC_IN1 和 ADC_IN2 电压与 CC 线路上的预期阈值来检查 UFP 是否已连接。电源开关 X1 保持禁止状态。
4. 如果检测到 UFP 连接，Switch_enable 将上拉以在连接器上提供 VBUS，该平台将让 USB2.0 控制器作为主机角色启动。

由于插头具有可正反插的特性，在将两对 DP/DN 线路连接到 STM32 设备之前，这两对线路需要尽可能靠近插座的位置相互连接。

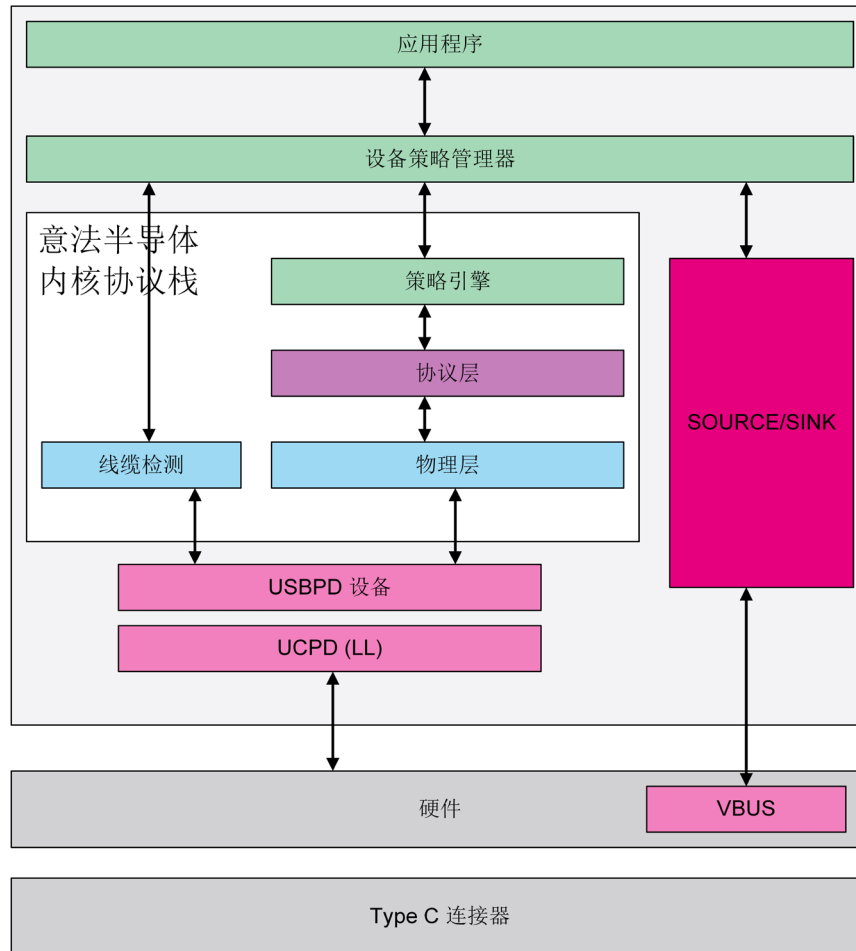
11 使用集成 UCPD 外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C

本章可能不完全适用于 STM32 MPU 产品。有关特性，请参见第 9 节“产品提供”。

11.1 STM32 MCU 软件概述

意法半导体提供基于 USB.org 规范的专有 USB Power Delivery 协议栈。下面概述了该协议栈的架构。

图 13. USB Power Delivery 协议栈架构



其中两个部分（USB PD 内核协议栈和 USBPD 设备）完全由意法半导体管理，因此用户只需将开发精力集中在另外两个部分上：

- 用户应用部分：在 USB 组织规范中称为“设备策略管理器”。意法半导体提供了一个应用模板，供用户根据应用需求填写。
- 硬件部分：工作主要集中在能源管理上，这取决于用户为管理 Type-C 接口的供电相关事宜所选择的资源材料。

本文档提供了使用 STM32 资源（ADC、GPIO 等）的硬件实现指南，但开发人员在电源限制方面的参考资料是 *Universal Serial Bus Power Delivery Specification* 的第 7 章“Power supply”。有关详细信息，另请参见 [1]。

DT71672V1

注：意法半导体内核协议栈以认证库形式提供，符合 USB Power Delivery 要求（USB Power Delivery 协议，状态机规范）。这篇文档 [1] 中定义了 API 说明。

11.2 STM32 MPU 软件概述

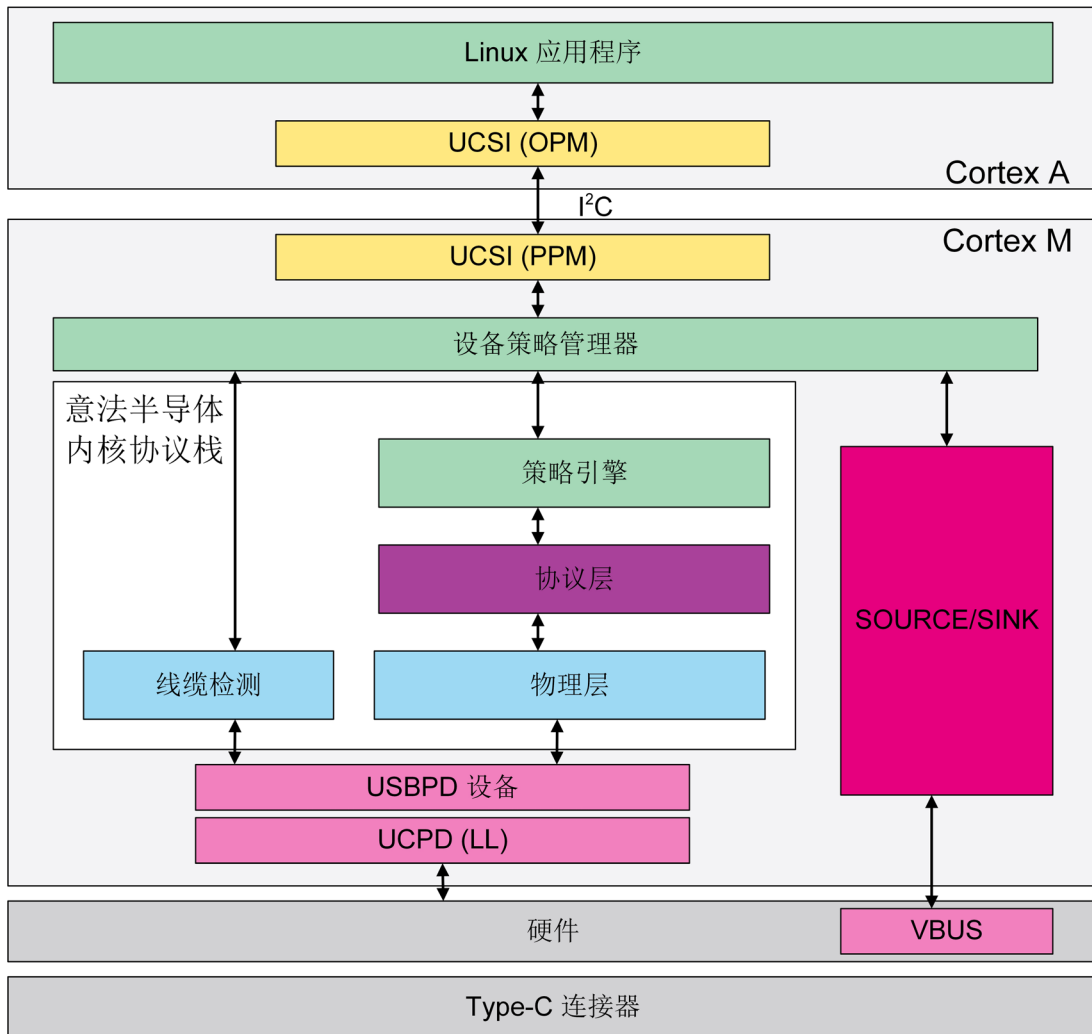
可使用 USB Type-C® 连接器系统软件接口监视 Power Delivery 控制器 [24]。

在 Linux 社区中，UCSI 层的内核驱动程序位于 DevicePolicyManager (DPM) 之上。

所有适用于 STM32 MCU 集成的 UCPD 外设的原理图都可以使用。

用于 UCSI 通信的硬件链路可以是 I²C 总线。

图 14. STM32 MPU 软件概述



DT1673v1

资源

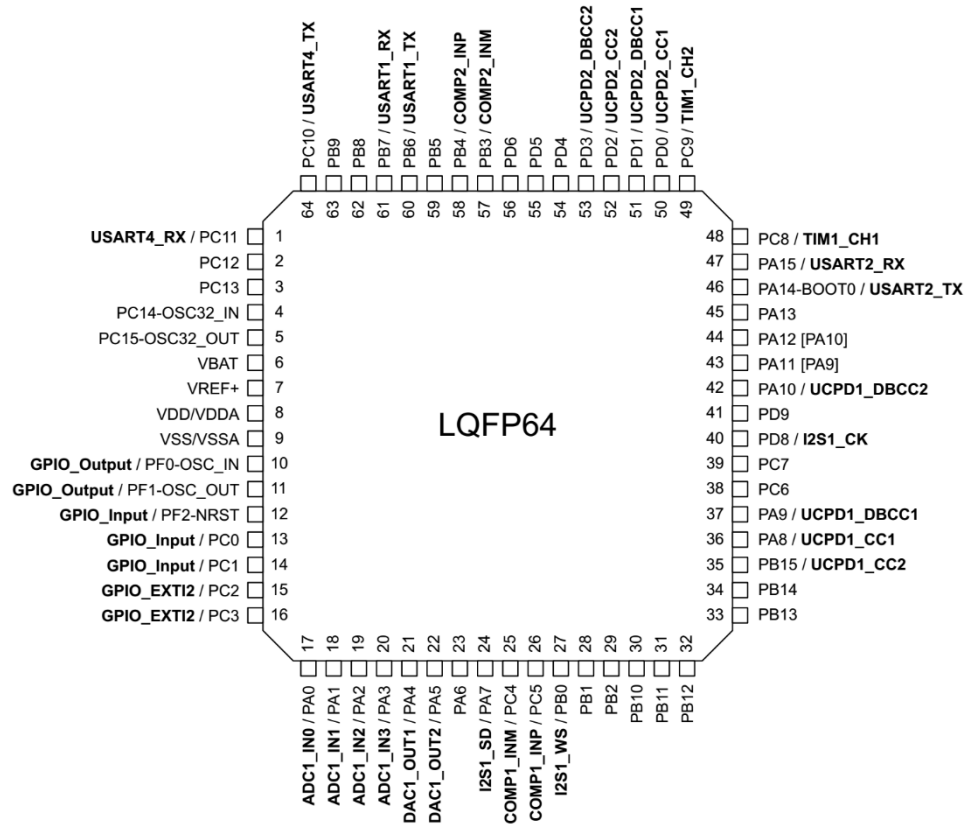
X-CUBE-UCSI 是意法半导体的一项原创方案。它用于 STM32Cube 的 USB Type-C® 和 Power Delivery 软件扩展。

X-CUBE-UCSI 扩展包由库、驱动程序、源代码、API 和在 STM32G0 32 位微控制器上运行的应用示例组成。该微控制器用作 STM32MP135F-DK 板上的 UCSI 平台策略管理器 (PPM)。PPM 是硬件和固件的组合，负责管理平台上的 USB Type-C® 连接器。STM32MP13 作为 UCSI OS 策略管理器 (OPM) 与 PPM 相连接，通过 I²C 与 UCSI 相连接。

11.3 硬件概述

利用 STM32 UCPD 外设，可以实现灵活且可扩展的架构。可使用各种 STM32 通用外设，如 PWM、ADC、DAC、I2C、SPI、UART、COMP、OPAMP、RNG 和 RTC。有关详细信息，请参见 STM32CubeMx pintout 工具。

图 15. 器件引脚排列示例



下文从硬件角度介绍了如何实现每种电源模式。有关软件实现的所有信息均可在参考规范中找到。

11.3.1 DBCC1 和 DBCC2 引脚

Type-C 系统中的 DB 功能概述

即使在掉电时，支持 DB 功能的 USB Type-C sink 也会按照表 9 的要求将连接的 CC 线路拉低。根据 USB Type-C 标准，这可以通过电阻或电压钳位来实现，如下表所示。因此，连接到 sink 的 USB Type-C source 可以检测到 sink 未上电（对于电池供电应用来说，这相当于 DB 状态）。随后，USB Type-C source（如电池充电器）可通过 VBUS 线路供电。

表 9. CC 线路上的 USB Type-C sink 行为

状态	CC 线路上的下拉功能	
	不支持 DB 功能的 sink	支持 DB 功能的 sink
掉电	无	5.1 kΩ 电阻或电压钳位 (DB)
电源	5.1 kΩ	5.1 kΩ 电阻

当 USB Type-C sink 恢复供电时，它会将 Rd 下拉电阻值更改为正常工作时的指定值之一。

在从 DB 状态转换为 VBUS 供电状态后，Type-C 规范要求 Rd 值从 DB 切换到“工作”状态时，不得经过无任何下拉电阻的状态。它接受 Rd 值超出规定工作值的短暂瞬态。有关完整要求，请参见 USB Type-C 规范的终端参数部分。

集成了 UCPD 外设的 STM32 设备上的实现

这些设备集成了 CCx (x = 1 或 2) 引脚的 Rp 和 Rd 功能，以满足 USB Type-C 的要求。要支持 DB 功能，DBCCx (x = 1 或 2) 引脚必须从外部与各自的 CCx 引脚连接。

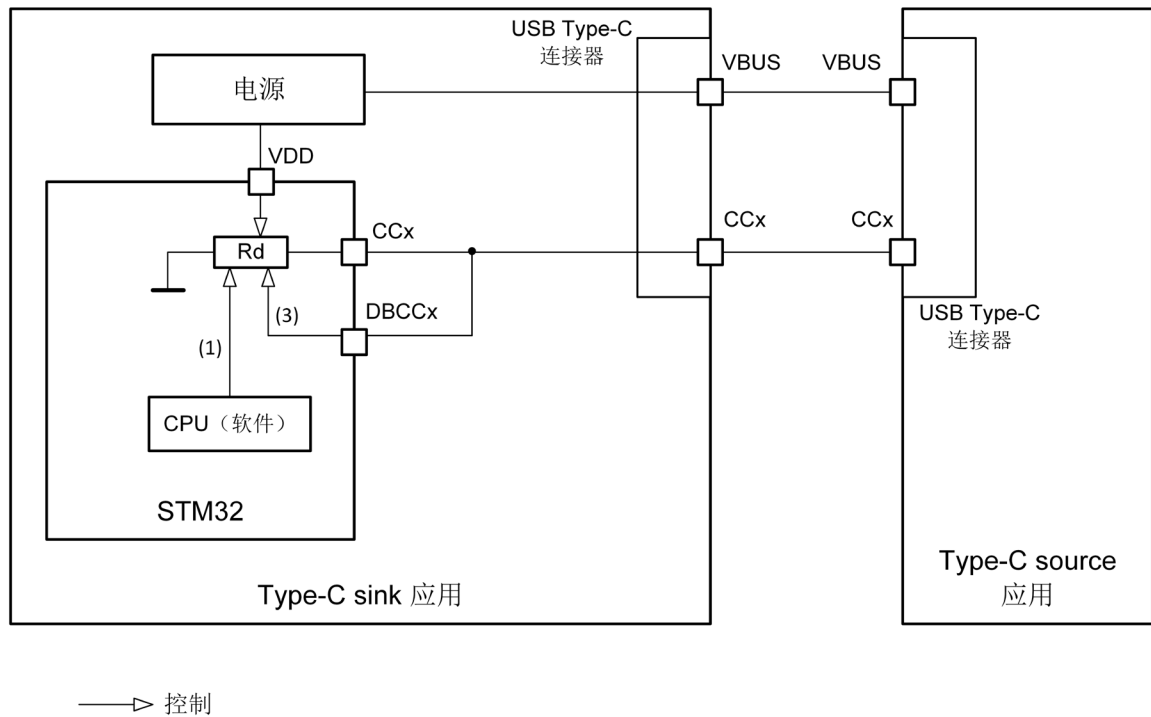
图 16 至图 19 所示的控制路径 (1) 至 (3) 根据应用拓扑和状态管理 CCx 引脚上 Rp 和 Rd 功能之间的切换。

当 STM32 设备未供电时，如果作为输入的 DBCCx 引脚上的电压超过 1 V，则会通过控制路径 (3) 激活各自 CCx 引脚上的 DB 下拉功能。它一直保持到设备上电，软件通过控制路径 (1) 将其禁止为止。DB 禁止操作会激活正常运行的 Rd 或 Rp 值，软件应用程序应预先设置这些值。

在不支持 DB 功能的情况下，当设备用作 USB Type-C source 或 USB Type-C sink 时，DBCCx 引脚可用作如通过控制路径 (2) 控制的 GPIO。在此类应用中，DBCCx 引脚上的弱外部下拉电阻（例如 100 kΩ）可确保 DB 下拉功能不会在设备掉电时在相应的 CCx 引脚上激活。

DBCCx 在非防护应用中的用法

当设备掉电时，DBCCx 引脚用作输入。DBCCx 上的高电平会在相应的 CCx 引脚上呈现 Rd = DB，以指示电量耗尽状态。当与 USB Type-C source 直接连接时，要使 SINK 设备支持 DB 功能，DBCCx 引脚必须与相应的 CCx 引脚短接。一旦设备上电后，其 CCx 引脚上呈现的 Rd 会自动转换为通过控制寄存器定义的值，如图 16 所示。该配置中的端接必须为 Rd（下拉）类型。

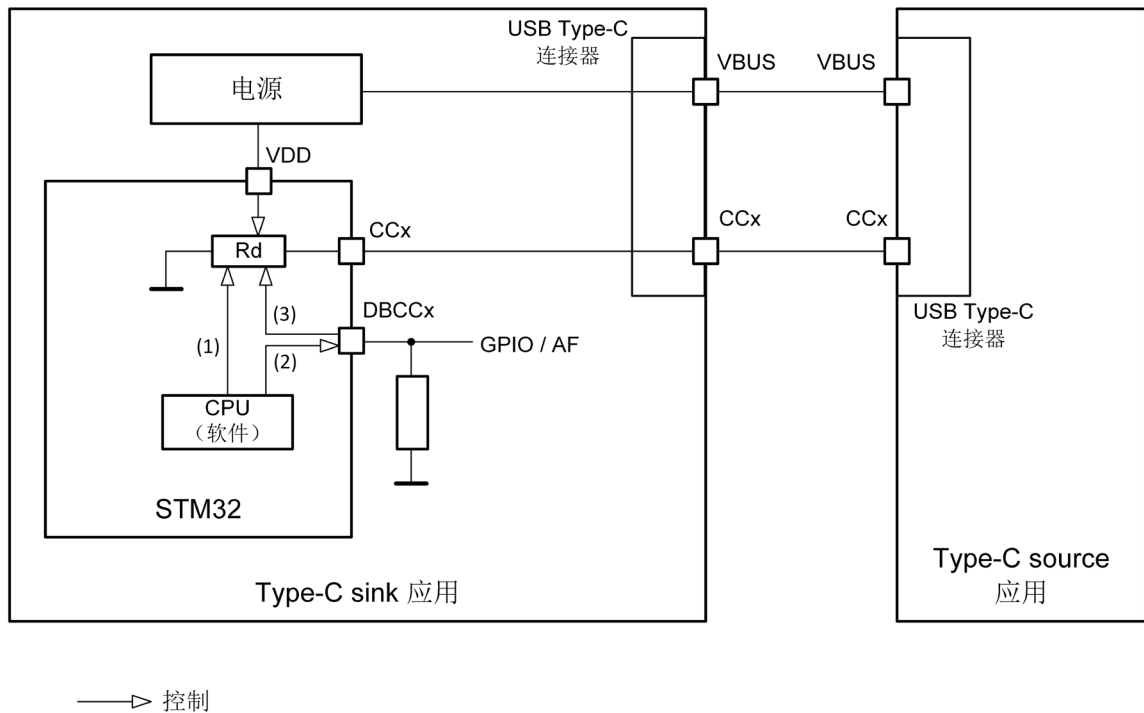
图 16. 支持 *DB* 功能的非防护型 SINK 设备应用

表 10. 非防护 SINK 设备 - 退出 *DB* 模式的顺序

顺序	VBUS	VDD	Rd 值	备注
第 0 步	0 V	0 V	<i>DB</i>	!
第 1 步	5 V	0 V	<i>DB</i>	VBUS 到达
第 2 步	5 V	3.3 V	默认 Rd	设备电源到达
第 3 步	5 V	3.3 V	由软件选择	取决于软件写 ANAMODE 位域

当设备用作 USB Type-C source 时，CCx 引脚上的 Rd 不得设置为 *DB* 值。为确保这一点，可将 DBCCx 引脚与相应的 CCx 引脚分开，并通过一个高阻值（如 100 kΩ）外部下拉电阻将它们拉低，该电阻会在掉电状态下使其变为低电平。该方案也适用于不具备 *DB* 功能的非防护型 SINK 设备应用场景。

在这两种情况下，当设备上电时，DBCCx 引脚都可用作 I/O，如图 17 所示。

图 17. 不支持 DB 功能的非防护型 SINK 设备



DBCCx 在防护型应用中的用法

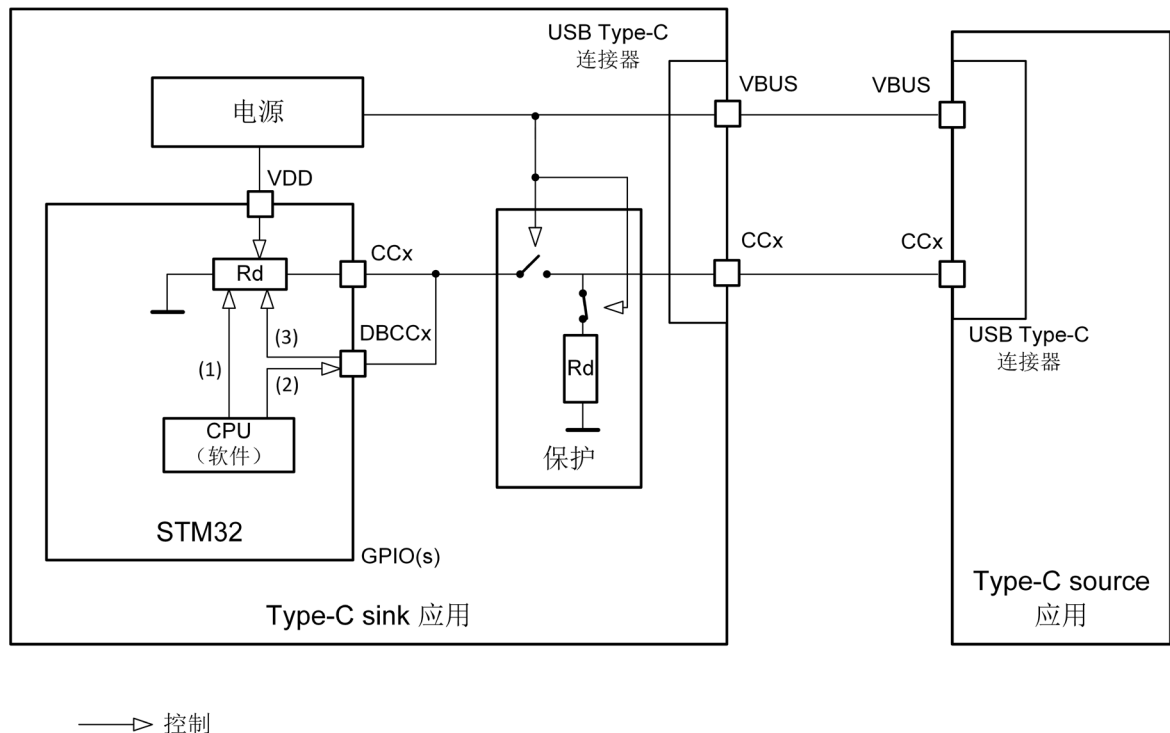
可在 STM32 器件和应用的 Type-C 连接器之间放置一个保护电路（如 TCPP01-M12）。激活时，它会将设备的 CCx 引脚与 CCx 线路隔离开来，以保护设备免受电气应力的影响，例如应用中 USB Type-C 连接器上的静电放电 (ESD)。当未连接电缆或连接的电缆没有端接时，这种静电放电可能会对设备造成损坏。未激活时，它连接设备的 CC 引脚到 Type-C 连接器上。

通常情况下，保护电路由 VBUS 线路供电。它既可通过专用命令，也可根据其电源供应情况来激活/停用。在后一种情况下，当未上电（保护激活）时，它会将设备的 CCx 引脚与 Type-C 连接器隔离；当上电（保护未激活或旁路）时，它会将设备的 CCx 引脚与 Type-C 连接器连接起来。

对于支持 DB 功能的应用，激活的保护电路必须向 Type-C 连接器的 CCx 线路呈现一个阻值为 $R_d = DB$ 的下拉电阻。其激活/禁用必须基于其供电状态（VBUS 电压）。一旦 USB Type-C source 在 VBUS 上提供供电/充电电压，保护电路就会被禁用（其 R_d 断开连接，CCx 线路与设备 CCx 引脚连接）。不过，由于 STM32 设备在那一瞬间可能尚未供电，因此必须从保护电路接管 DB 信号（在 CC 引脚上呈现 $R_d = DB$ ）。这就是为什么 DBCCx 引脚必须与相应的 CCx 引脚短接，且不能将其用于其他用途。

下图展示了一个带有 ESD 保护功能且支持 DB 功能的典型应用。

图 18. 支持 DB 功能的受保护 sink 应用



下表显示了带保护电路的 USB Type-C sink 应用的 DB 模式退出顺序。术语连接/隔离表示 CCx 引脚与 Type-C source CCx 线路连接/未连接。保护电路状态 "激活" 意味着保护功能已启用，保护电路的下拉电阻 R_d = DB 会呈现给 Type-C SOURCE 端。保护电路状态 "旁路" 表示保护电路已禁用，不会影响 CC 线路，且将设备的 CCx 引脚与 Type-C SOURCE 端的 CCx 线路连接起来。

表 11. 受保护的 SINK 应用 - 退出 DB 模式的顺序

顺序	VBUS	VDD	保护电路状态	设备 CC 引脚/ R_d 值	备注
第 0 步	0V	0V	激活	隔离/DB	■
第 1 步	5V	0V	旁路	连接/DB	VBUS 到达
第 2 步	5V	3.3V	旁路	连接/默认 R_d	设备电源到达
第 3 步	5V	3.3V	旁路	连接/由软件选择	取决于软件写 ANAMODE 位域
第 4 步	5V	3.3V	旁路, 低功耗	连接/由软件选择	取决于软件通过 I2C 控制保护电路

不支持 DB 功能的应用的保护电路不包含 DB 下拉器件。

它可以根据其供电电压来激活/停用（图 19），也可以通过软件经由一个专用输入来激活/停用（图 20 - 控制路径 (4)）。后者允许设备在保护功能被禁用之前，通过 ANAMODE 位字段设置所需的 R_d 值。在这两种情况下，DBCCx 线路都可用作 I/O。下图显示了这两种情况下的应用拓扑示例。

图 19. 不支持 *DB* 功能的受保护 sink 应用 - 通过电源激活

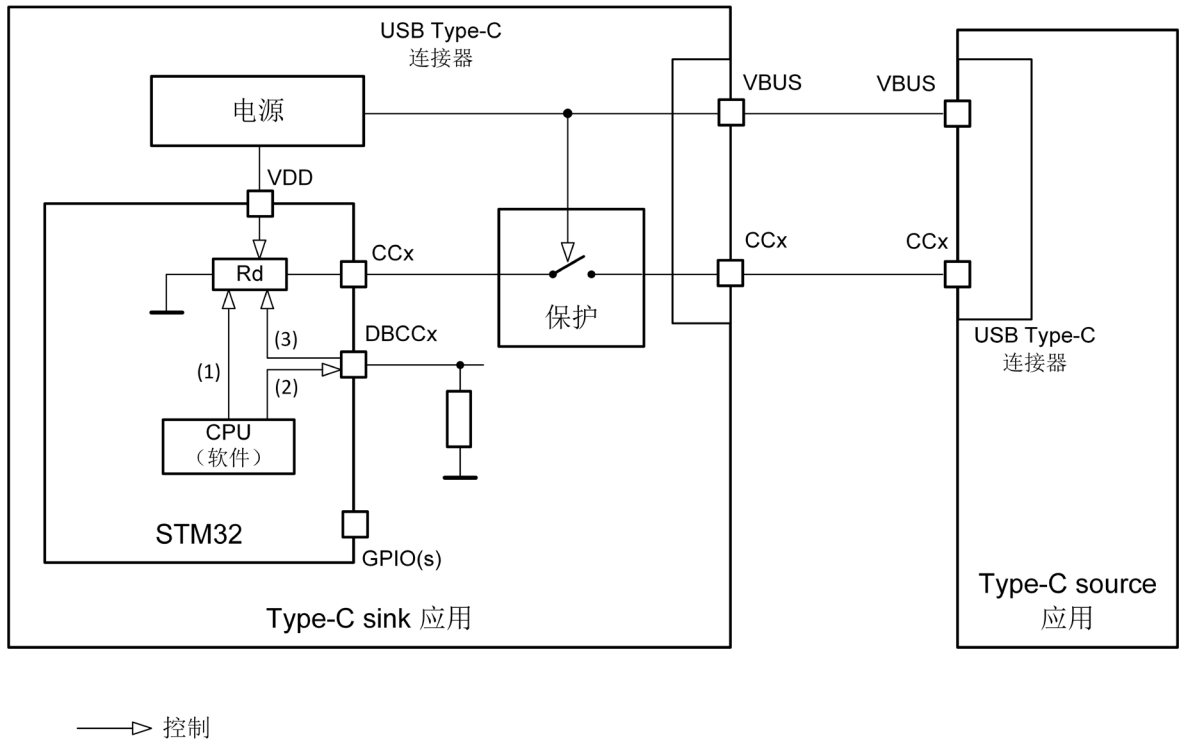
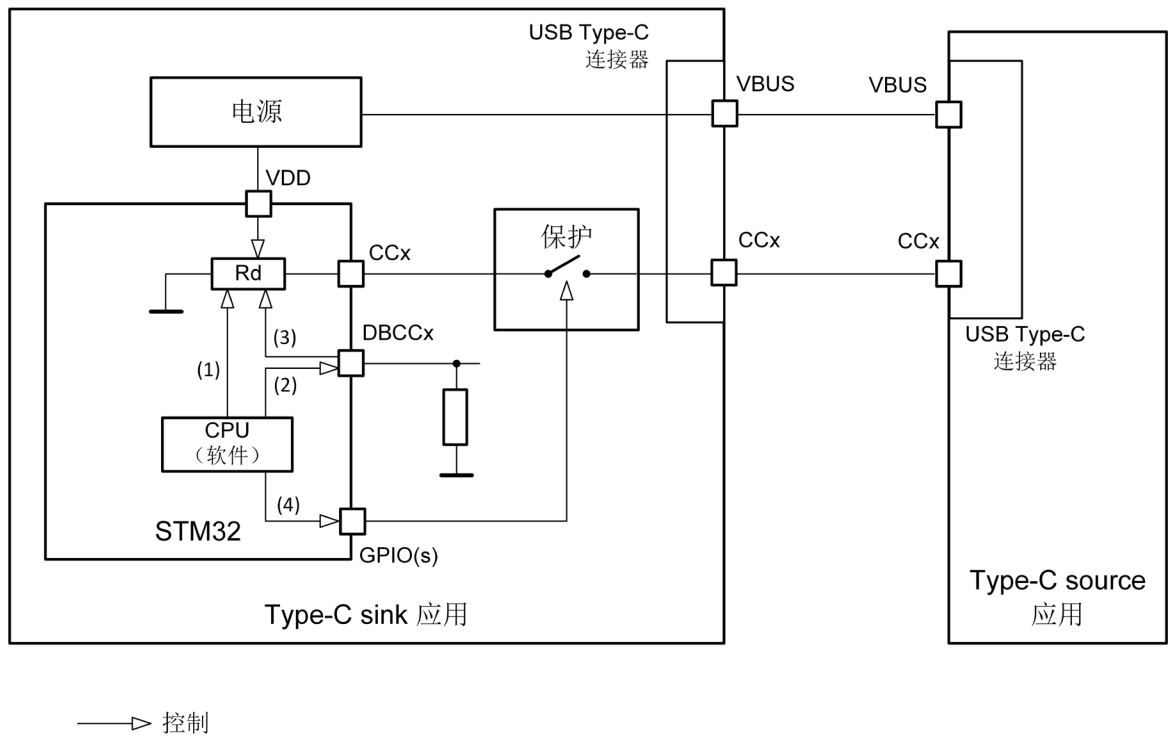


图 20. 不支持 *DB* 功能的受保护 sink 应用 - 通过专用输入激活



应用拓扑汇总

下表列出了与 STM32 兼容的 USB Type-C 应用的主要拓扑结构。

表 12. 主要 Type-C 应用拓扑汇总

应用			DBCCx		注释
受保护 ⁽¹⁾	符合 DB 要求	Sink/source	与 CCx 短接	可重复使用	
否	是	Sink	是	否	
否	否	Sink	否	是	应用必须确保设备掉电时 DBCCx 为低电平。
是	是	Sink	是	否	供电时保护电路处于禁用状态
是	否	Sink	否	是	供电时保护电路禁用：应用必须确保设备掉电时 DBCCx 为低电平。
					通过软件禁用保护电路：默认的 Rd 电阻不会呈现给 Type-C SOURCE 端。
否	不适用	source	否	是	设备上电时，Rp 呈现在 CCx 上。应用必须确保设备掉电时 DBCCx 为低电平。

CCx 线路相关

11.3.2 Sink 端口

USB Type-C Power Delivery SINK 端口在 CC 线上呈现下拉电阻 (Rd)，并且从 VBUS 线路获取电能（5~20 V，最大 5A）。

从 sink 的角度来看：

强制要求

- Type-C 端口在 CC 线上配置下拉电阻 Rd
- VBUS 电压检测
- SOURCE 端断开检测：当 VBUS 电压超出 5V 安全电压范围 (vSafe5V) 时，SINK 设备需要能够检测到 SOURCE 端的断开。

可选要求

- 从 VBUS 汲取电力

可选保护措施

- 由 usb.org 定义的过压保护 (OVP):
 - 在连接状态下，sink 应测量 VBUS 电压电平。
 - 使用 STM32 通用 ADC 进行这种测量。
- 对 CC1、CC2 和 VBUS 线路进行保护和 EMI 滤波。请参见第 14 节“建议”

下表总结了各种功能：

表 13. Sink 功能

功能	涉及 STM32 外设	STM32 引脚数	外部组件或设备	备注	信号名称
协议					
通信通道 CC1 和 CC2	UCPD: CC1、CC2	2		强制。能够处理 Rd 和 Rp	CC1、CC2
DB 特性	UCPD: DBCC1、DBCC2	2		处理 Rd	DBCC1、DBCC2
VBUS 电平、vSafe5V、测量	ADC		带有或不带有运算放大器的电阻分压器电桥（出于安全目的）	仅在确保 OVP 时强制使用	V_SENSE
电源					
从 VBUS 汲取电力			从 VBUS 到 3.3 V (VDD) 的 DC/DC	可选，LDO、DC/DC、SMPS	
额外电源开关	GPIO		电源开关	可选，可使用 MOSFET 或电源开关	SNK_EN
保护					
CC1 和 CC2			请参见第 14 节“建议”	可选	Type-C 端的 CC1 和 CC2
VBUS			请参见第 14 节“建议”	可选	Type-C 端的 VBUS
软件					
消息重复	TIM			用于驱动时序重复 1200 μ s 和 900 μ s	有关详细信息，请参见 UM2552
消息发送	DMA			用于 TX 和 RX 传输	有关详细信息，请参见 UM2552

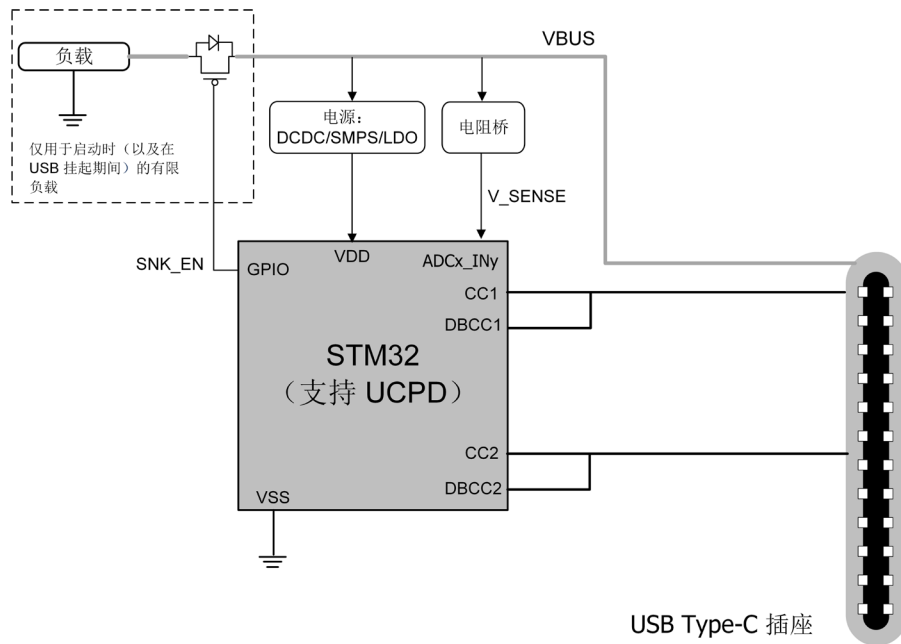
以下结构示意图说明了如何实现各种 sink 模式。

11.3.2.1 VBUS 供电的 sink

从 STM32 的角度来看，VDD 由 VBUS 产生。使用外部 LDO、DC/DC 转换器或 SMPS，并且在 VBUS 上可选择连接一条电源开关线来为额外的负载供电。可用一个 GPIO 引脚 (SNK_EN) 来控制这个可选的电源开关。

关于协议，两个专用的 STM32 UCPD 引脚 DBCC1 和 DBCC2 用于在 CC1 和 CC2 线路上设置下拉电阻 R_d 。DBCC 线路必须与 CC 线路连接。无需软件参与，无论 STM32 是否上电，下拉电阻 R_d 都会通过 DBCC 线出现在 CC 线路上。STM32 上电后，USB-PD 软件协议栈再将电阻连接从 DBCC 线路切换到 CC 线路。

图 21. 无 ESD 保护的 VBUS 供电（带 DB 功能）的 SINK 应用示例连接图



信号说明

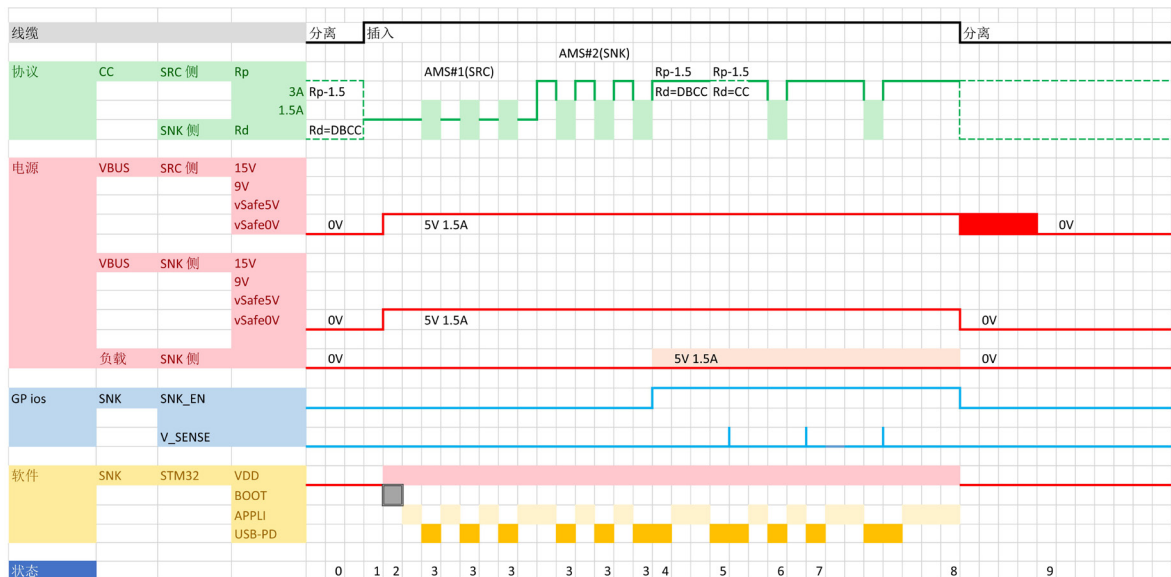
- CC1 和 CC2 通信通道信号连接到专用的 Type-C 连接器引脚
- DBCC1 DB 信号连接到 CC1。当 STM32 未上电时，该功能用于处理下拉电阻 R_d 。
- DBCC2 DB 信号连接到 CC2。当 STM32 未上电时，该功能用于处理下拉电阻 R_d 。

可选：

- V_SENSE（电压检测引脚）通过一个电阻分压器连接到 ADC。出于过压保护 (OVP) 和安全方面的考虑，对 VBUS 电压进行测量。在软件上，PD 协议栈使用 HAL_ADC 驱动程序来测量 VBUS 的电压电平。
- SNK_EN 信号是通过 GPIO 引脚来连接和断开可选的 VBUS 负载。

时间线

图 22. VBUS 供电的 sink 时间线



下面介绍了各个状态。斜体显示的操作基于 GPIO（ADC、IO 等）：

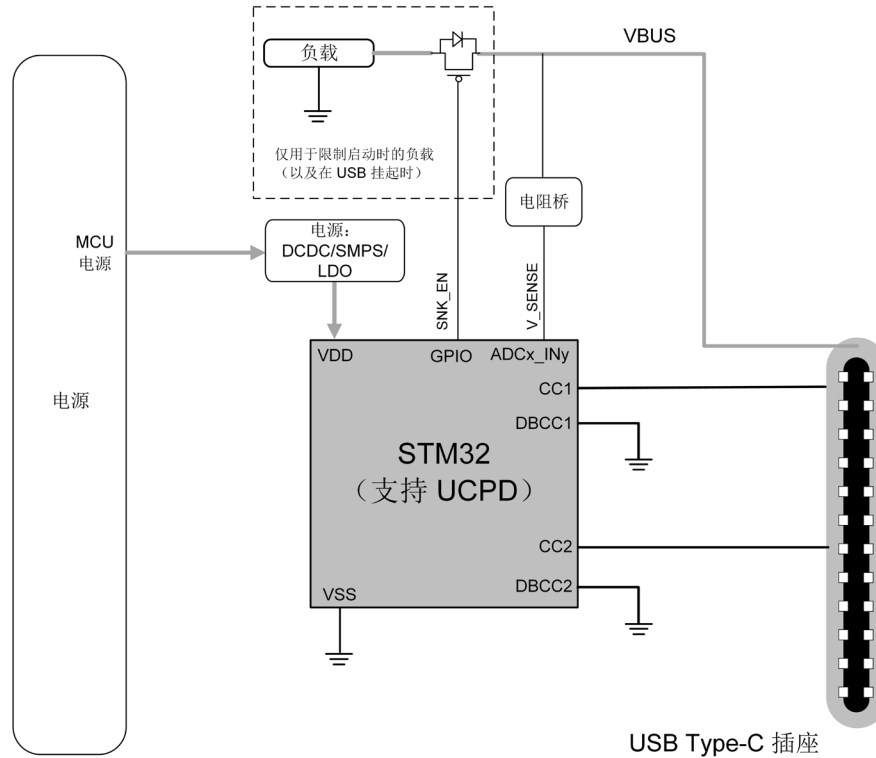
- **状态 0：** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - $R_p = 1.5A$ $R_d = 5.1K$ (DBCC 引脚)
- **状态 1：** 连接线缆；VBUS 处于连接状态
- **状态 2：** STM32 启动、启动应用程序并初始化 USB-PD 软件
- **状态 3：** 端口伙伴启动 AMS 电源协商
- **状态 4：** USB-PD：使用来自 CC 的 R_d 而不是 DBCC
- **状态 5：** SNK 检测到连接
- **状态 6：** USB-PD：使用 SNK_EN GPIO 使能负载并建立协议
- **状态 7：** USB-PD SW：检测 VBUS 上的电压/电流情况，过压保护 (OVP) 和确保系统安全
- **状态 8：** 断开线缆，VBUS 在 sink 端关闭
- **状态 9：** SOURCE 端将 VBUS 放电到安全零电压 (vSafe0V)

11.3.2.2 独立供电的 sink

STM32 器件由单独的 AC/DC 或 DC/DC 转换器、SMPS、LDO 或电池供电，而不是由 VBUS 供电。可选择由 SNK_EN GPIO 控制的电源开关从 VBUS 为附加负载供电。

关于协议，CC1 和 CC2 线路设置 Rd。DBCC1 和 DBCC2 线路必须连接到 GND。

图 23. SNK 外部电源连接



信号说明

- CC1 和 CC2 通信通道信号连接到专用的 Type-C 连接器引脚
- DBCC1 信号连接到 GND（因为不使用 DB 模式）
- DBCC2 信号连接到 GND（因为不使用 DB 模式）

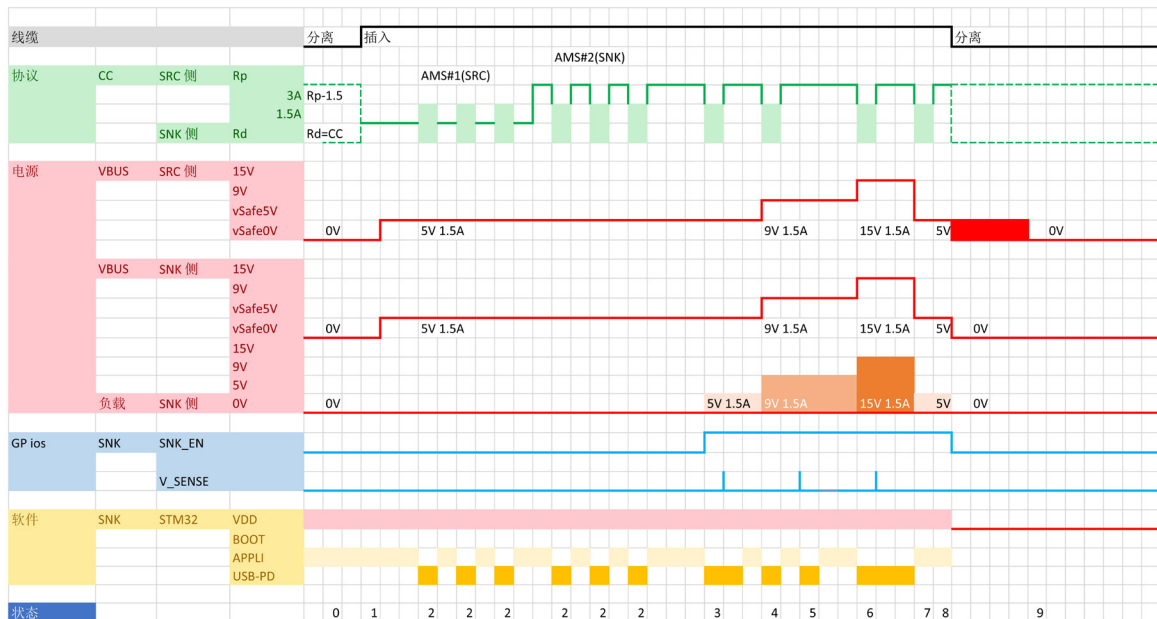
可选：

- V_SENSE 信号通过电阻分压器连接到 ADC。
- 测量 VBUS 电压是为了过压保护 (OVP) 和系统安全的目的
- 软件协议栈使用 HAL_ADC 测量 VBUS 电压电平

可使用一个 GPIO 引脚用作 SNK_EN 信号，用它来控制 VBUS 负载（可选）的连接或断开。

时间线

图 24. Sink 外部电源时间线



下面介绍了各个状态。斜体显示的操作基于 GPIO（ADC、IO 等）。

- **状态 0:** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - $R_p = 1.5 A$ $R_d = 5.1 K$ (CC 引脚)
- **状态 1:** 连接线缆。VBUS 处于连接状态。
- **状态 2:** SRC 和 SNK 之间的 AMS 消息通信。
- **状态 3:** USB-PD: 使用 SNK_EN GPIO 引脚使能负载。
- **状态 4:** SNK 请求 9 V。
- **状态 5:** *USB-PD SW: 检测 VBUS 上的电压/电流情况, 过压保护 (OVP) 和确保系统安全。*
- **状态 6:** SNK 请求 15 V。
- **状态 7:** SNK 请求 5 V。
- **状态 8:** 断开线缆, VBUS 在 sink 端关闭。
- **状态 9:** SOURCE 端将 VBUS 放电到安全零电压 (vSafe0V)。

11.3.3 Source 端口

USB Type-C Power Delivery source (SRC) 端口在 CC 线上配置上拉电阻 (R_p), 在 VBUS 上提供电源 (5~20 V, 5A max)。

从 source 的角度来看:

强制要求

- Type-C 端口在 CC 线上配置上拉电阻 R_p
- 向 VBUS 供电
- 在断开连接或通信失败的情况下, SOURCE 端会将 VBUS 电压降至安全零电压 (vSafe0V)。
 可通过一个 STM32 GPIO 引脚控制外部 MOSFET 晶体管来对 VBUS 进行放电。

可选要求

- 可使用 STM32 的通用 ADC 利用分流器或电阻桥来测量 VBUS 上的电压和电流。

可选保护措施

- 对 CC1、CC2 和 VBUS 线路进行保护和 EMI 滤波。请参见第 14 节“建议”。

Source 功能

表 14 总结了这些功能。

表 14. Source 功能

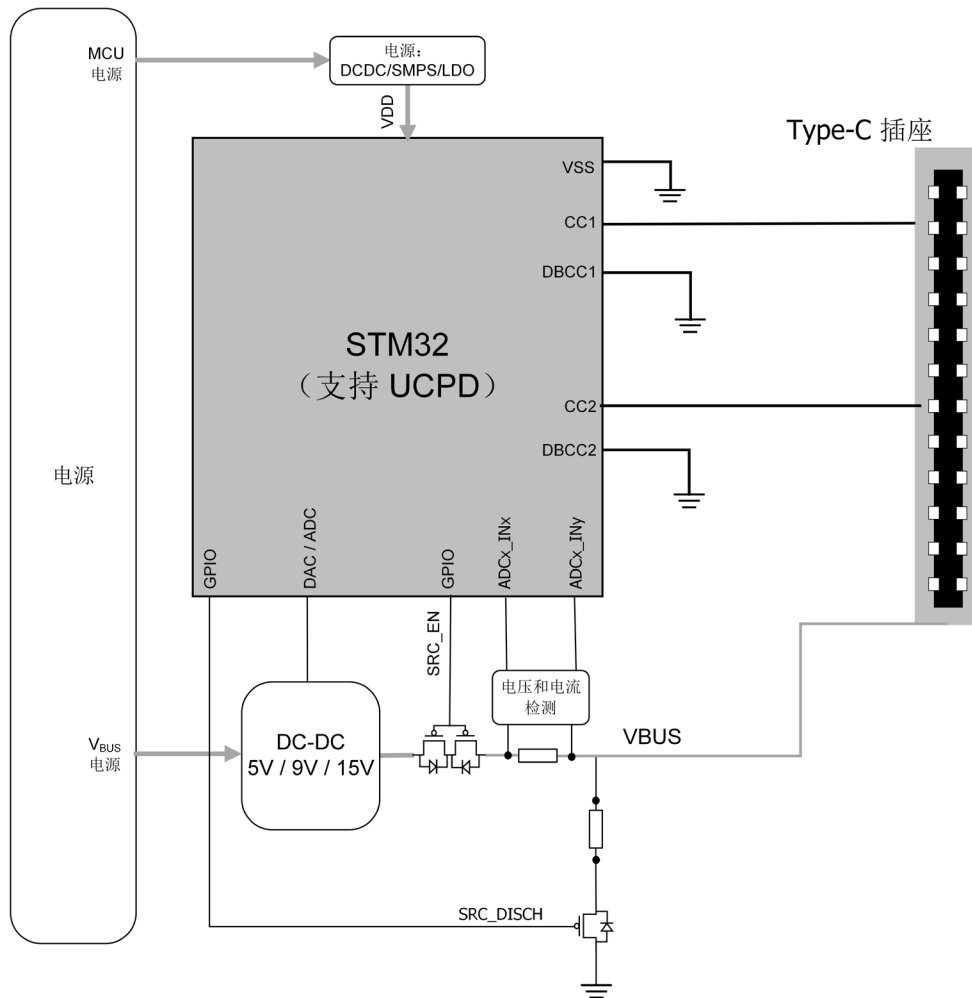
功能	涉及 STM32 外设	STM32 引脚数	外部组件或设备	备注	信号名称
协议					
CC1 和 CC2 通信通道	UCPD: CC1、CC2	2	■	强制	CC1 CC2
支持 DB 特性	UCPD: DBCC1、DBCC2	2	■	强制	DBCC1 DBCC1
VBUS 电平、vSafe0V、测量	ADC	1	带或不带运放的电阻桥（出于安全目的）	强制 ⁽¹⁾	V_SENSE
电源					
从 VBUS 供电	GPIO	1	电源开关	强制，可使用双 MOSFET	SRC_EN
将 VBUS 放电至 vSafe0V	GPIO	1	MOSFET + 放电电阻	强制	SRC_DISCH
ISense 测量	ADC	1	运放+ 分流电阻	可选	I_SENSE
CC1 和 CC2			请参见第 14 节“建议”		Type-C 端的 CC1 和 CC2
保护					
VBUS	■	■	请参见第 14 节“建议”	■	Type-C 端的 VBUS
软件					
消息重复	TIM	■	■	用于驱动时序重复 1200 μs 和 900 μs	有关详细信息，请参见 [1]
消息发送	DMA	■	■	用于 TX 和 RX 传输	有关详细信息，请参见 [1]

1. 出于认证目的，必须检查 vSafe0V。

图 25 解释了如何处理 Source (SRC) 模式。从 STM32 的角度来看，电源由外部电源提供，如 AC/DC、DC/DC、SMPS、LDO 或电池。

电阻 R_p 的管理由 UCPD 软件协议栈来处理。在这种情况下，DBCC 线路不得与 CC1 和 CC2 线路连接。DBCC1 和 DBCC2 引脚连接到 GND。

图 25. Source 架构



注：图中未显示 VCONN 电路。请参见第 13.1 节“向 VBUS 供电”。

信号说明

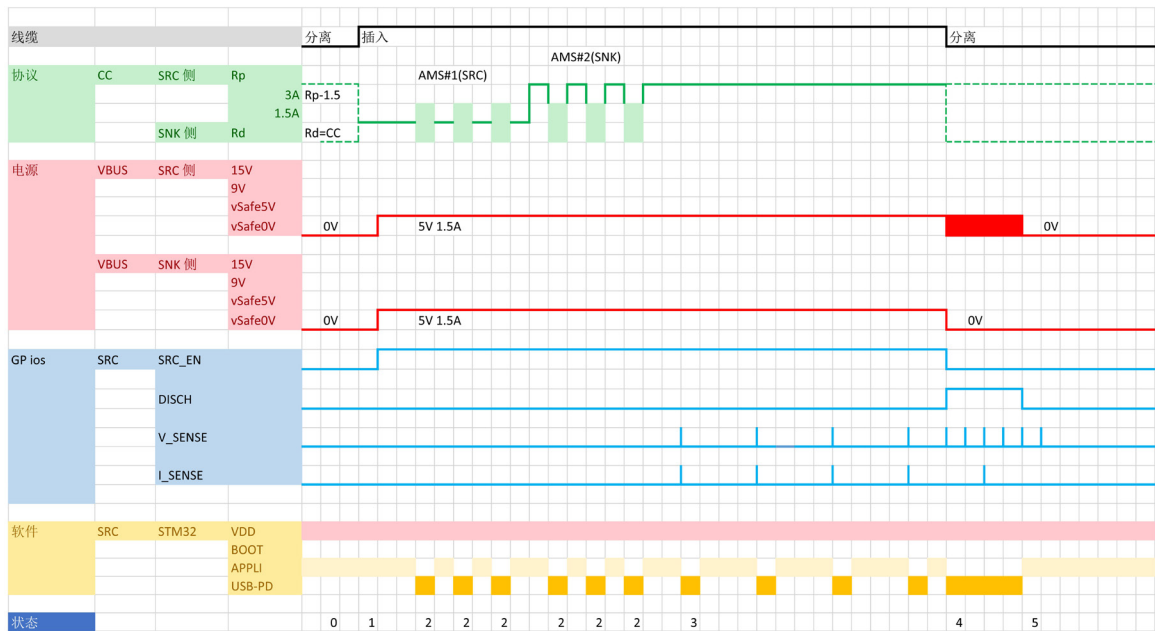
- CC1 和 CC2 通信通道信号连接到专用的 Type-C 连接器引脚
- DBCC1 信号连接到 GND
- DBCC2 信号连接到 GND

可选：

- V_SENSE 信号通过电阻分压器连接到 ADC。测量 VBUS 电压是为了过压保护和系统安全方面的考量。软件协议栈使用 HAL_ADC 驱动程序测量 VBUS 电流水平。
- 在 VBUS 电压需要负向跳变的情况下，例如从 15V 降至 5V 或从 9V 降至 5V，可在负载开关（由 SRC_EN 控制）之前使用一条放电路径，以缩短这种电压跳变所需的时间，并使系统保持在规定的参数范围内。

时间线

图 26. SRC (source) 模式电源时序



下面介绍了各个状态。斜体显示的操作基于 GPIO（ADC、IO 等）：

- **状态 0：** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - $R_p = 1.5\text{ A}$, $R_d = 5.1\text{ k}\Omega$ (*CC 引脚*)
- **状态 1：** 连接线缆。VBUS 接通
 - 连接状态
 - *USB-PD 软件通过 SRC_EN 这个 GPIO 下引脚使能 VBUS*
 - 供电能力信息交换
- **状态 2：** SRC 和 SNK 之间的 AMS 消息通信
- **状态 3：** *USB-PD SW：检测 VBUS 上的电压/电流情况，过压保护 (OVP) 和确保系统安全*
- **状态 4：** 断开线缆，VBUS 关闭
 - *USB-PD 软件利用 DISCH 这个 GPIO 引脚开启 VBUS 放电，直至 VBUS 达到 vSafe0V*
- **状态 5：** source VBUS 放电至 vSafe0V

11.3.4 双角色电源端口

双角色电源 (DRP): 指可作为 source 或 sink 工作的 USB Power Delivery 端口。端口功能既可以固定为 source 或 sink, 也可以在两种端口模式之间交替。最初, 在作为 source 运行时, 端口也扮演 DFP 角色, 而在作为 sink 运行时, 端口则扮演 UFP 角色。端口角色可动态更改, 进而反转电源或数据角色。

从双角色电源端口的角度来看:

强制要求

- 处于 source 模式下时, Type-C 端口在 CC 线上配置上拉电阻 R_p
- 处于 sink 模式下时, Type-C 端口在 CC 线上配置下拉电阻 R_d
- 向 VBUS 供电
- 在断开连接或通信失败的情况下, SOURCE 端会将 VBUS 电压降至安全零电压 (vSafe0V)
 - 可通过一个 STM32 GPIO 引脚控制外部 MOSFET 来对 VBUS 进行放电

可选要求

- 测量 VBUS 电压和电流值
 - 可使用 STM32 的通用 ADC 利用分流器或电阻桥来测量 VBUS 上的电压和电流
- 从 VBUS 汲取电力
- SOURCE 端断开检测, 当 VBUS 超出 vSafe5V 范围时
- 管理快速角色交换 (FRS) 协议。(仅限 USB-PD 3.0)

可选保护措施

- 对 CC1、CC2 和 VBUS 线路进行保护和 EMI 滤波。请参见第 14 节“建议”。

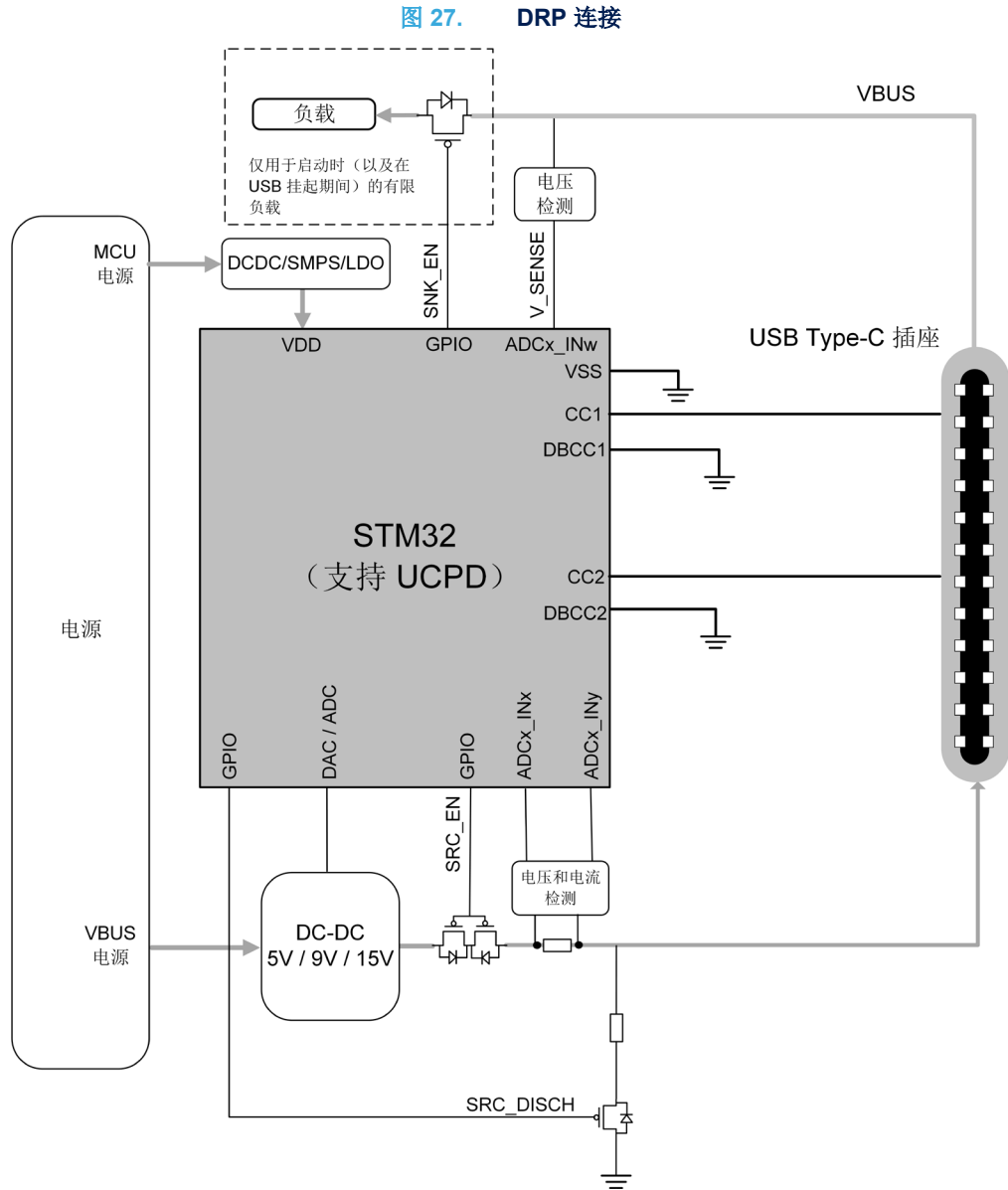
功能

表 15 总结了这些功能：

表 15. 双角色电源端口功能

功能	涉及 STM32 外设	STM32 引脚数	外部组件或设备	备注	信号名称
协议					
CC1 和 CC2 通信通道	UCPD: CC1、CC2	2	■	强制 能够处理 R_d 和 R_p	CC1 CC2
DB 特性	UCPD: DBCC1、 DBCC2	2	■	强制 接线至 GND	DBCC1 DBCC1
VBUS 电平、 vSafe0V、vSafe5V、 测量	ADC	1	带或不带运放的电阻 桥（出于安全目的）	强制 出于过压保护 (OVP) 的目的	V_SENSE
快速角色交换 (FRS)	UCPD: FRSTX1、 FRSTX2	2	通过 MOS 将 CC 线 路驱动到 GND	强制	FRSTX1 FRSTX2
上电电压	■	■	■	■	■
在 VBUS 上供电	GPIO	1	电源开关	强制，可使用 MOS	SRC_EN
额外电源开关	GPIO	1	电源开关	可选，可使用 MOS	SNK_EN
将 VBUS 放电至 vSafe0V	GPIO	1	MOS + 放电电阻	强制	SRC_DISCH
ISense 测量	ADC	1	运算放大器 + 分流电阻器	可选	I_SENSE
保护					
CC1 和 CC2	■	■	见第 xxx 章	可选	Type-C 端的 CC1 和 CC2
VBUS	■	■	见第 xxx 章	可选	Type-C 端的 VBUS
软件					
同上	■	■	■	■	■

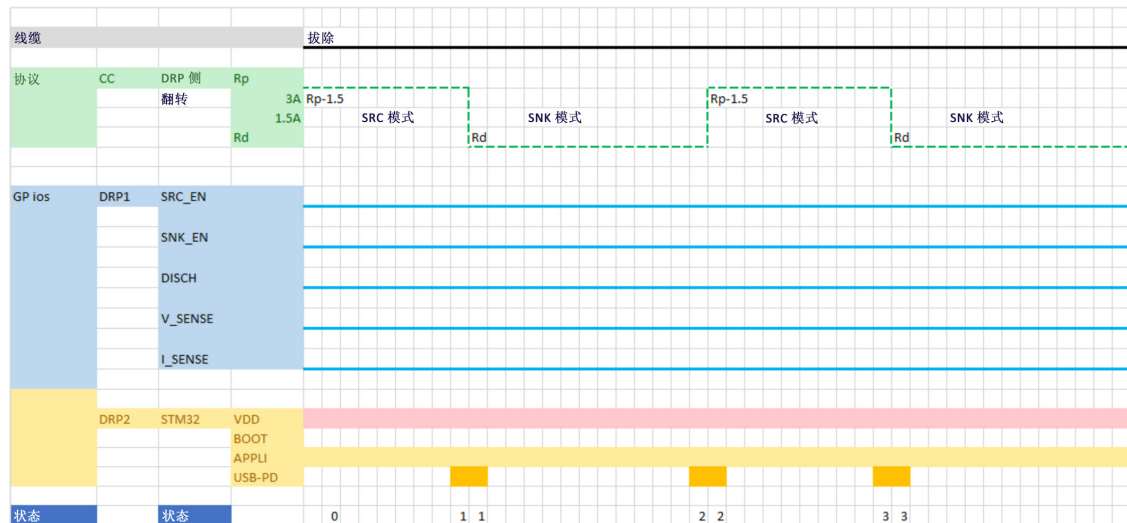
图 27 显示在 DRP 模式下使用的连接。



注：图中未显示 VCONN 电路。请参见第 13.1 节“向 VBUS 供电”。
 第 11.3.2 节“Sink 端口”和第 11.3.3 节“Source 端口”中给出了信号说明。

时间线

图 28. 使用 FRS 模式的 DRP 时间线示例



斜体显示的步骤基于 GPIO（ADC、IO 等）。

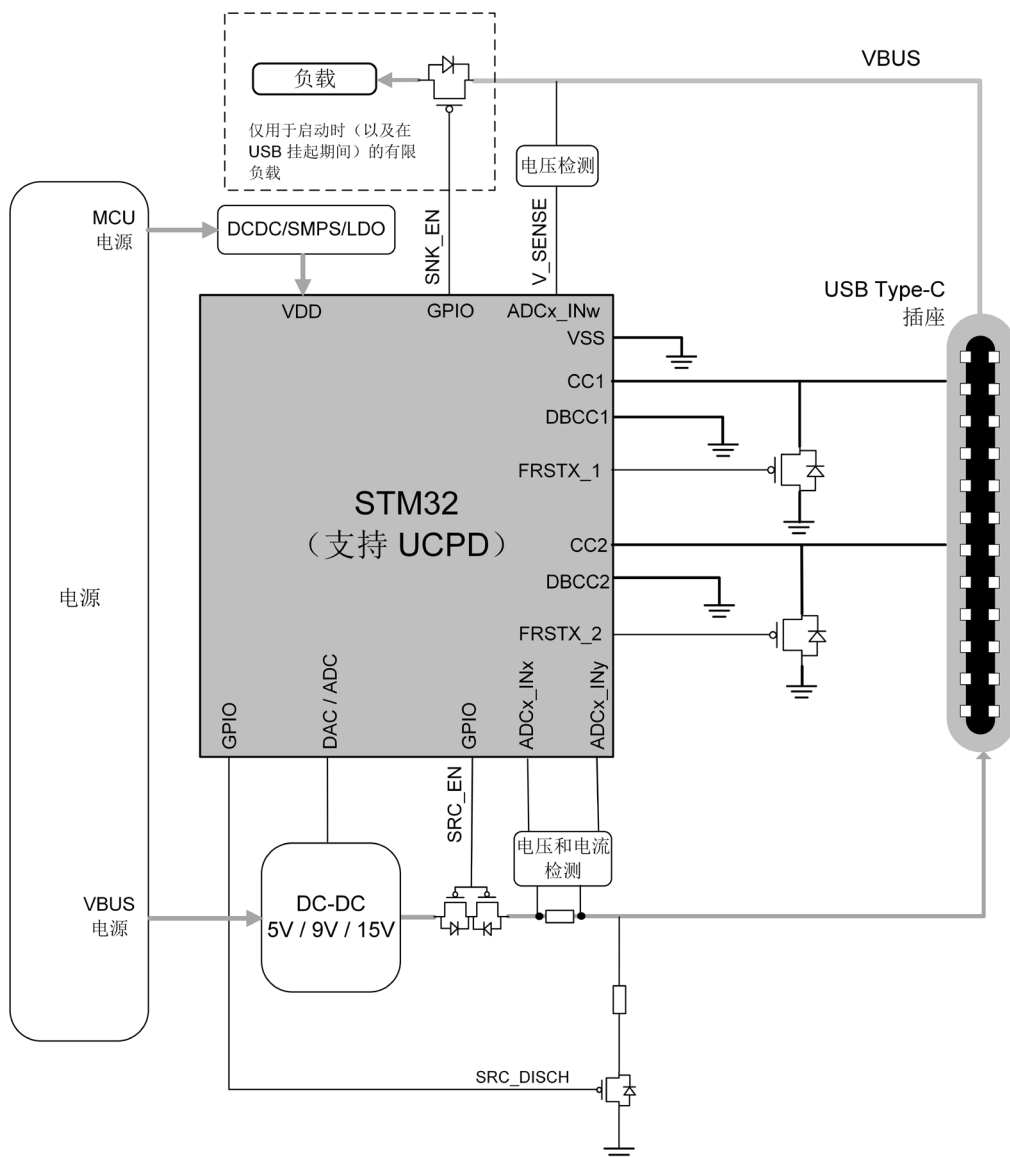
- **状态 0:** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - *DRP = SRC 角色 $R_p = 1.5 A$ (CC 引脚)*
- **状态 1:** USB-PD 协议栈决定从 SRC 变为 SNK 角色
 - *DRP = SNK 角色 $R_d = 5.1 K$ (CC 引脚)*
- **状态 2:** USB-PD 协议栈决定从 SNK 变为 SRC 角色
 - *DRP = SRC 角色 $R_p = 1.5 A$ (CC 引脚)*
- **状态 3:** USB-PD 协议栈决定从 SRC 变为 SNK 角色
 - *DRP = SNK 角色 $R_d = 5.1 K$ (CC 引脚)*

11.3.5 帶 FRS 的双角色电源端口

在这种配置中，STM32 设备由单独的 **source** 供电，如 AC/DC 或 DC/DC 转换器、SMPS、LDO 或电池。UCPD 外设通过软件处理 **Rp** 和 **Rd**。当两个设备均为 **DRP** 端口时，电源角色（无论是 **SOURCE** 端还是 **SINK** 端）可以在不断开任何线缆连接的情况下动态更改。

快速角色切换 (FRS) 功能使得任何突然断电（如主电源）的 SOURCE 端，能够向具有 FRS 功能的 SINK 端更快地发送信号。由于 FRS 信号的传输 / 检测在数据传输期间就能起作用，且不受冲突控制的影响，其耗时不超过 50 μ s。一旦 SINK 端检测到 FRS 信号，它就会准备检测 VBUS 电平下降情况。然后，它会将自身角色切换为 SOURCE 端 (SRC)，并在 FRS 切换流程规定的时间（例如 150 μ s）内接管对 VBUS 的驱动。

图 29. 带 FRS 功能的 DRP 连接图 (VBUS = 5 V / 9 V / 15 V)



请注意，图中未显示 VCONN 电路。请参见第 13.1 节“向 VBUS 供电”。

信号说明

- CC1 和 CC2 通信通道信号连接到专用的 Type-C 连接器引脚
- DBCC1 信号连接到 GND。
- DBCC2 信号连接到 GND。
- SRC_EN 信号使用一个 GPIO 引脚通过外部的 MOSFET 或电源开关来接通 VBUS。
- SRC_DISCH 信号使用一个 GPIO 引脚在断开连接时启动对 VBUS 的放电操作。可使用一个外部 MOSFET 晶体管来实现。
- FRSTX1 和 FRSTX2 快速角色交换信号连接到外部 MOSFET，以驱动 CC 线路。
- V_SENSE 信号通过一个电阻分压器连接到 ADC。测量 VBUS 电压是为了过压保护和系统安全的目的。软件协议栈使用 HAL_ADC 驱动程序测量 VBUS 电压电平。
- I_SENSE 信号通过一个电阻分流器连接到 ADC。测量 VBUS 电流的目的是确保安全。软件协议栈使用 HAL_ADC 驱动程序测量 VBUS 电流水平。
- SNK_EN 信号是通过 GPIO 引脚来连接和断开可选的 VBUS 负载。

时间线
图 30. 使用 FRS 的 DRP 时间线示例


斜体显示的步骤基于 GPIO (ADC、IO 等)

- **状态 0:** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - $R_p = 1.5\text{ A}$ $R_d = 5.1\text{ K}$ (CC 引脚)
- **状态 1:** 连接线缆
 - VBUS 接通时, DRP1 将 SRC_EN GPIO 引脚置 1
- **状态 2:** 供电能力信息交换
 - DRP2 使用 SNK_EN GPIO 引脚接通 VBUS 上的负载
- **状态 3:** FRSTX (FRS) 启动
- **状态 4:** DRP1 将 VBUS 降至 vSafe0V
- **状态 5:** DISXH GPIO 引脚启动 DRP1 放电
- **状态 6:** VBUS 放电结束
- **状态 7:** DRP1 和 DRP2 之间交换角色
- **状态 8:** DRP2 使用 SRC_EN GPIO 引脚使能 VBUS
- **状态 9:** DRP1 使用 VBUS 上的 SNK_EN GPIO 引脚接通负载
- **状态 10:** 断开线缆
- **状态 11:** 放电结束

12 使用通用外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C

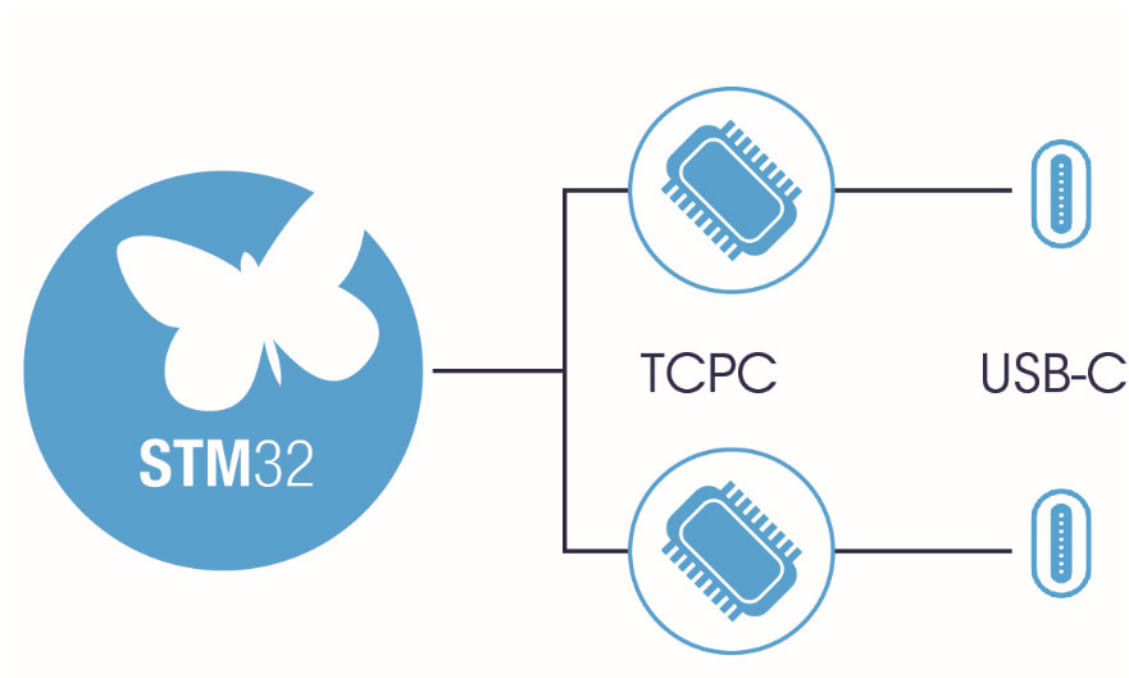
本章可能不完全适用于 STM32 MPU 产品。有关特性，请参见第 9 节“产品提供”。

12.1 软件概述

软件结构与第 11.1 节“STM32 MCU 软件概述”中介绍的结构相同。

12.2 硬件概述

图 31. 带通用外设的 Type-C Power Delivery 硬件视图



使用通用外设时，TCPM/TCPC 接口是处理 USB Power Delivery 的便捷方法。STM32 MCU 和 STM32 MPU 可使用通信总线处理所有 TCPM/TCPC 配套芯片。

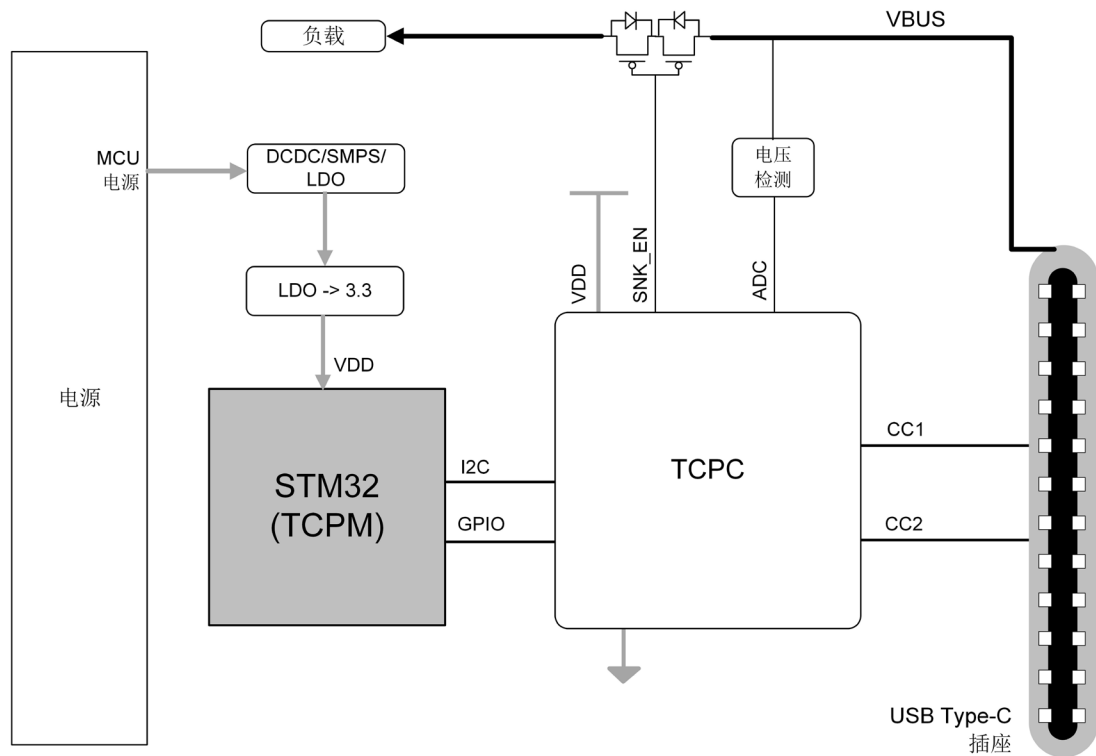
通常使用 I2C、SPI 或 GPIO 来处理通信消息和异常。

12.2.1 使用 TCPM/TCPC 接口的 sink 端口

在 sink (SNK) 模式下，Type-C 端口必须在 CC 线路上暴露 R_d （下拉电阻）并从 VBUS 获取电力。当 VBUS 达到 vSafe5V 时，SINK 端会检测到 SOURCE 端的连接。例如，检测过程需要用到一个 ADC。

STM32 通常使用 I2C 总线与 TCPM/TCPC 接口通信。在某些情况下，STM32 通用 MCU 和 TCPM/TCPC 外部组件之间的通信由 SPI、ADC、DAC 或 GPIO 完成。

图 32. 使用 TCPM/TCPC 接口的 sink 端口

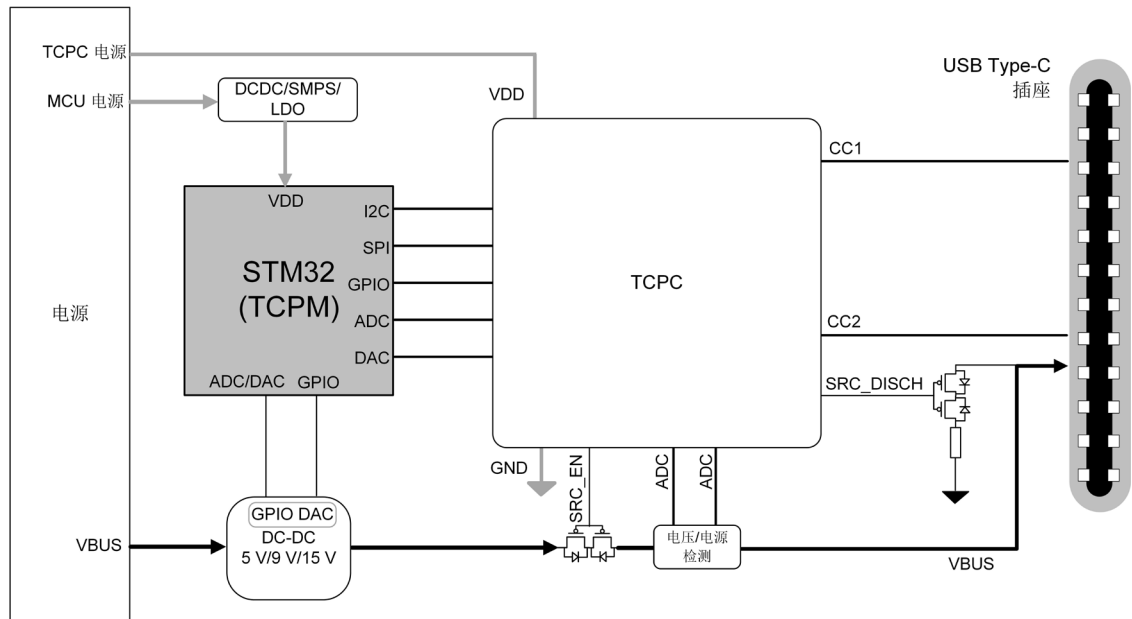


12.2.2 使用 TCPM/TCPC 接口的 Source 端口

在 source (SRC) 模式下，Type-C 端口必须在 CC 线路上连接一个 R_p 电拉电阻，并通过 VBUS 提供电力。在断开连接或通信故障期间，source 会将 VBUS 降至 vSafe0V。这意味着设备必须对 VBUS 进行放电操作。

STM32（作为 TCPM）通常使用 I2C 总线与 TCPM/TCPC 接口通信。在某些情况下，STM32 通过 MCU 和 TCPM/TCPC 外部组件之间的通信由 SPI、ADC、DAC 或 GPIO 完成。

图 33. 使用 TCPM/TCPC 接口的 Source 模式

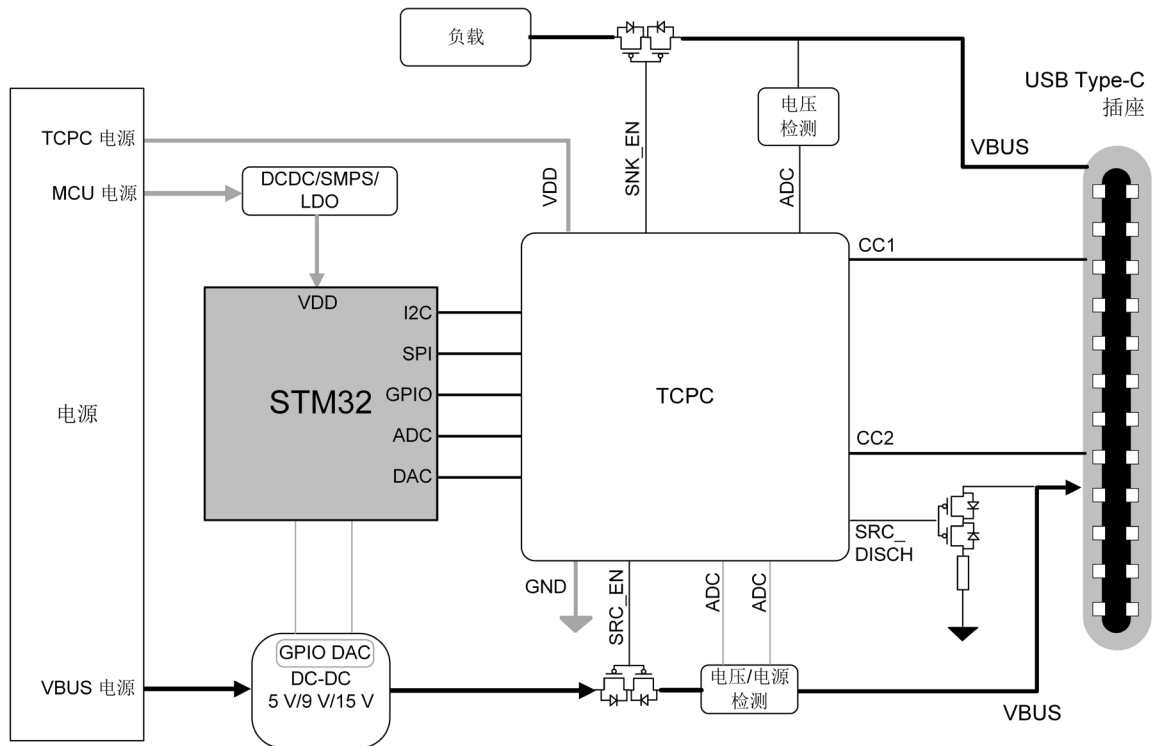


12.2.3 使用 TCPM/TCPC 接口的双角色电源端口

双角色电源 (DRP) 端口既可以作为 **source (SRC)** 运行，也可以作为 **sink (SNK)** 运行。端口角色既可以固定为 **source** 或 **sink**，也可以在两种端口状态之间切换。最初，当作为 **source** 运行时，端口也充当下行端口 (DFP)；当作为 **sink** 运行时，端口充当上行端口 (UFP)。端口角色可动态变化，从而使电源或数据角色反转。

STM32 通常使用 I2C 总线与 TCPM/TCPC 接口通信。在某些情况下，STM32 通用 MCU 和 TCPM/TCPC 外部组件之间的通信由 SPI、ADC、DAC 或 GPIO 完成。

图 34. 使用 TCPM/TCPC 接口的双角色电源端口



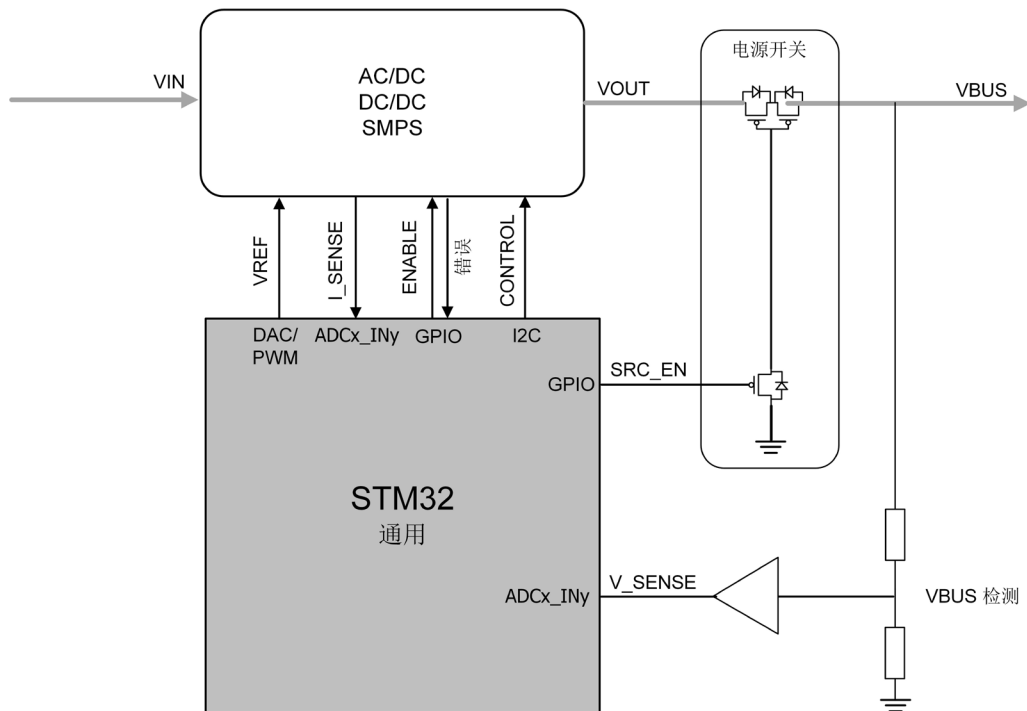
13 专用架构建议和解决方案

本章可能不完全适用于 STM32 MPU 产品。有关特性，请参见第 9 节“产品提供”。

13.1 向 VBUS 供电

作为 PD 供电方的 SOURCE 端和 DRP 向 VBUS 线路供电。常用的功率级包括 DC/DC 转换器、AC/DC 转换器和开关模式电源 (SMPS)，带或不带电池。电源开关将其输出 (VOUT) 接至 VBUS 线路。通用 STM32 ADC、DAC、GPIO 和 I2C 外设可实现灵活、可扩展的功率级控制，如下图所示。

图 35. 向 VBUS 供电



信号说明

- ADC: VBUS 电压和电流测量
- GPIO: 电源开关控制、功率级使能、误差感应
- PWM 或 DAC: 功率级的电压基准
- I2C: 利用 I²C 总线对功率级进行数字控制。

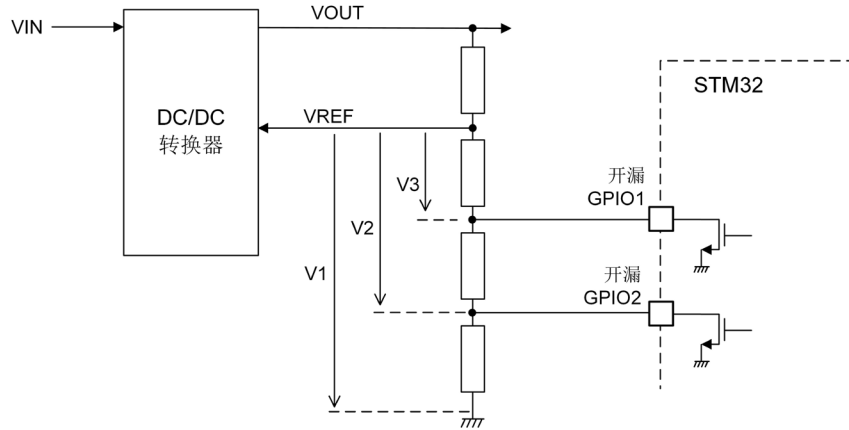
在 STM32G0 实现中，DC/DC 转换器由定时器（STM32 中提供）产生的 PWM 驱动。其目的是确定与所请求电压相对应的 PWM 波。一种迭代算法用于评估目标 PWM 波，并且通过电压测量来确认是否达到了预期的电压值。

13.2 利用 GPIO 控制 DC/DC 输出

通过 GPIO 控制电阻桥

VREF 线路的电压是通过一个对 VOUT 线路电压进行分压的电阻桥来设置的。分压比通过开漏的 GPIO 设置到所需的值。如下图所示：

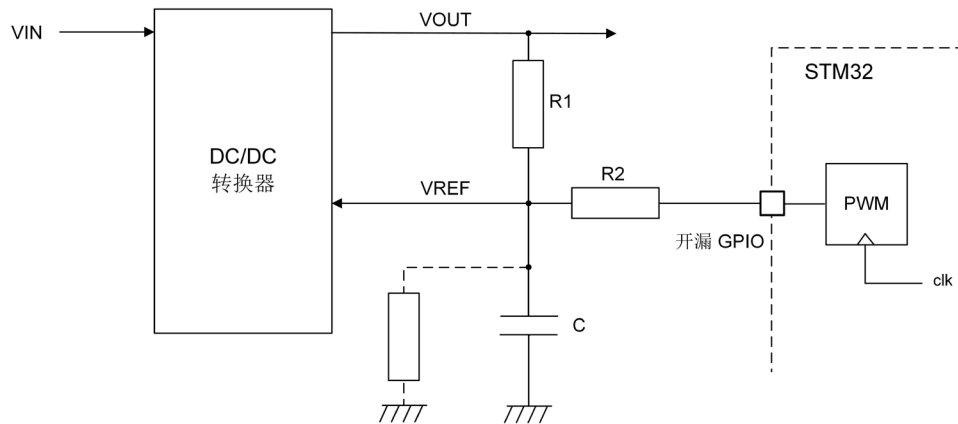
图 36. 使用开关电阻桥设置 V_{Ref}



通过 GPIO 用作 PWM 输出进行控制

VREF 线路电压的设置方式如下：通过电阻桥 R1/R2 对 VOUT 线路电压进行分压，并在使用占空比定义的一段时间内利用开漏 PWM GPIO 输出将电阻桥的底端接地。电阻桥中间点的电压通过一个电容平滑至平均值，该电容与电阻桥的电阻构成一个低通 RC 滤波器。改变 PWM 占空比可改变 VOUT 线路电压。

图 37. 利用 PWM GPIO 设置 V_{Ref}



通过 GPIO 用作 DAC 输出进行控制

VREF 线路电压可由 STM32 DAC 输出驱动。

13.3 在 CC 线路上施加 V_{CONN}

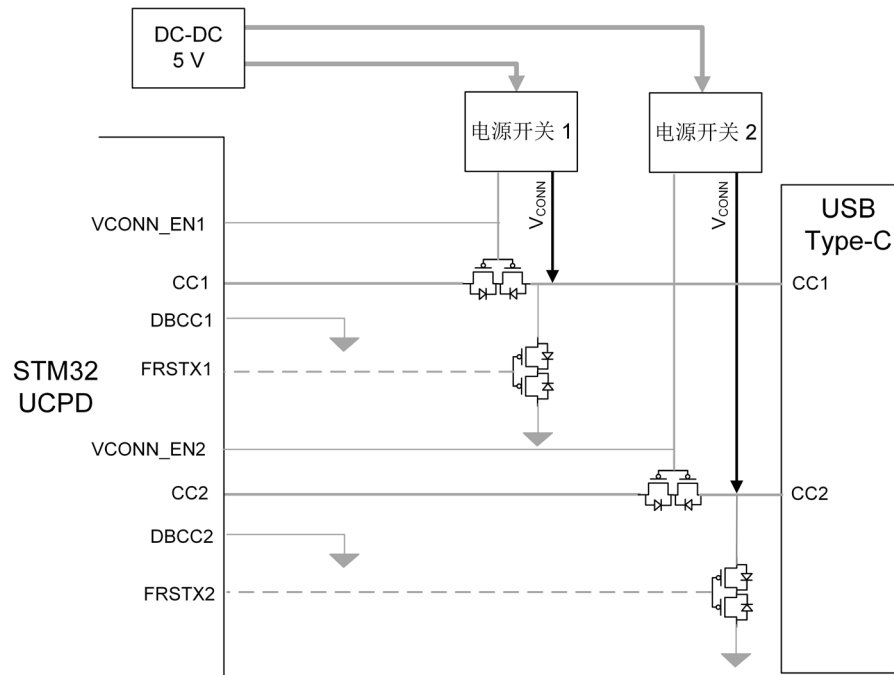
在下列情况下，作为提供电源的 SOURCE 端或者 DRP 必须支持 V_{CONN} 功能：

- 提供或消耗的电流超过 3 A
- 支持 USB3

系统中有一个 V_{CONN} 电压发生器。两个电源开关向 CC1 或 CC2 引脚提供 V_{CONN} (5 V)，同时，两个 MOSFET 将 STM32 UCPD CC1 和 CC2 引脚与 CC 线路隔离。当电源开关停止向 CC 线路施加 V_{CONN} 时，两个 FRS 换向 MOSFET 对 CC 线路放电。

这意味着至少要使用两个 GPIO 来控制 VCONN_EN1 和 VCONN_EN2，如下图所示。

图 38. 在 CC 线路上施加 V_{CONN}



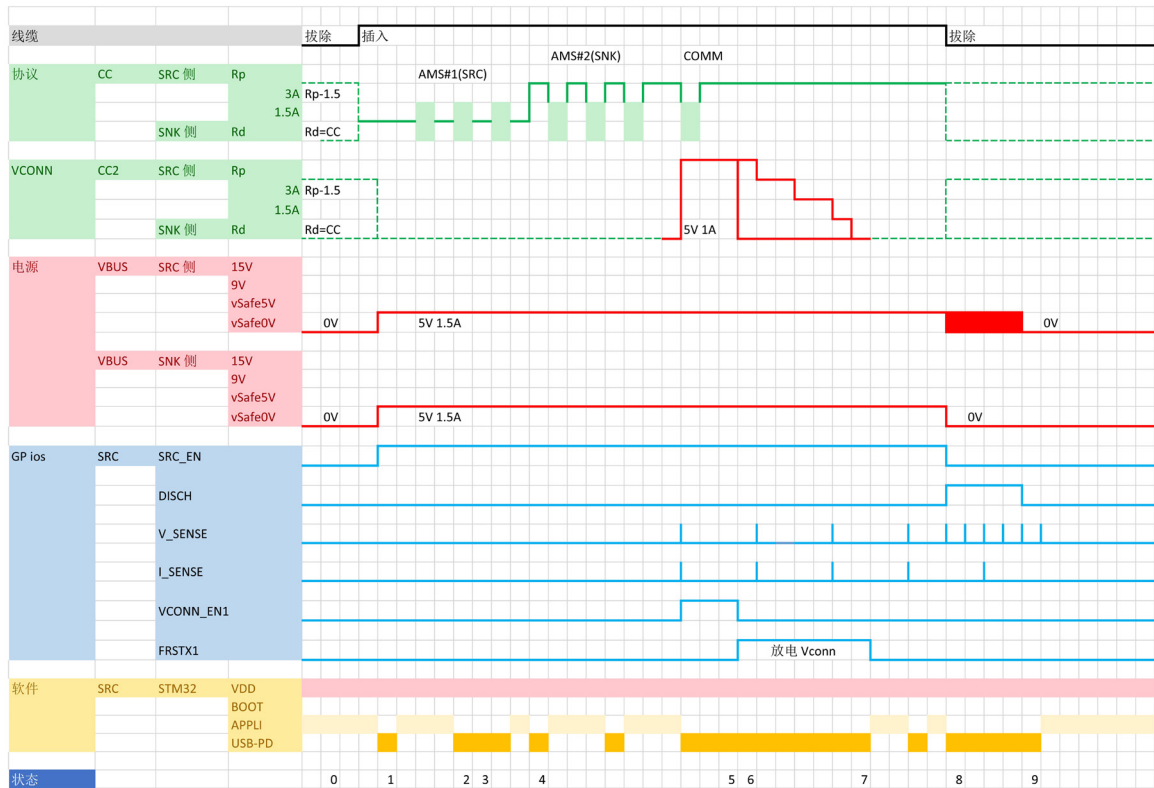
信号说明

两个 GPIO（图中显示为 VCONN_EN1 和 VCONN_EN2）控制开关，将 V_{CONN} 施加于 CC 线路，同时将 STM32 CC 引脚与 CC 线路隔离。

有关软件的详细信息，请参见 [1]。

13.3.1 时间线

图 39. 应用 VCONN - 时间线示例



操作顺序如下，斜体显示的操作基于 GPIO（ADC、IO 等）：

- **状态 0：** 设备之间无连接
 - 未连接状态
 - $R_p = 1.5 A$ $R_d = 5.1 K$ (CC 引脚)
- **状态 1：** 连接线缆。使用 SRC_EN GPIO 接通 VBUS。连接状态。
 - *USB-PD 使用 SRC_EN GPIO 引脚接通 VBUS*
 - 供电能力信息交换
- **状态 2：** 请求接通 VCONN
- **状态 3：** 使用 VCONN_EN1/2 GPIO 使能 VCONN
- **状态 4：** *USB-PD SW：检测 VBUS 上的电压/电流情况，过压保护 (OVP) 和确保系统安全*
- **状态 5：** 请求接通 VCONN
- **状态 6：** 使用 VCONN_EN1/2 GPIO 禁止 VCONN
 - 使用 FRSTX 引脚或 GPIO 开始对 CC1/2 线路放电
- **状态 7：** 断开线缆，VBUS 关闭
 - *USB Power Delivery 使用 DISCH GPIO 引脚启动 VBUS 放电，直到 VBUS 电压达到 vSafe0V。*
- **状态 8：** VBUS 电压达到 vSafe0V

13.4 FRS 信令

仅在进行 Type-C DRP 角色交换时才需要 FRS 信令。只有作为 power source 运行的 DRP 才会在检测到断电时发送 FRS 信令。

FRS 信令 (TX): UCPD 外设需要外部硬件将 CC 线路强拉至 GND

- 这意味着需要两个由 STM32 UCPD 外设控制的外部 NMOS 晶体管
- 每条 CC 线路一个，由设置为相应 FRSTX1 或 FRSTX2 AF 的 GPIO 控制

FRS 检测 (RX): FRS 信令的检测是在内部进行的。它可由软件启用。

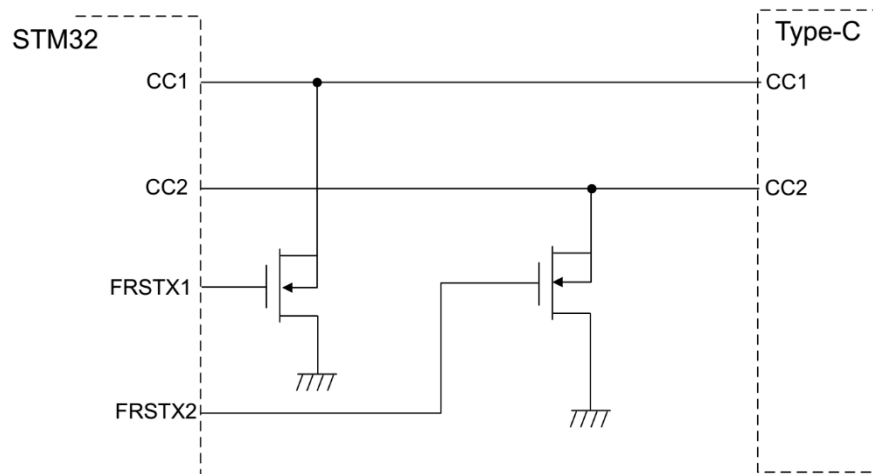
- 软件使用 UCPD 中断。

UCPD 外设通过多路复用功能提供一个控制位 (FRSTX)。只有向该位写入 1 才能启动“FRS 信令”条件。该条件会自动清除，以便符合所需的时序。更多详细信息，请参见相关的 STM32 MCU 或 MPU 产品数据手册。此行为在 Power Delivery 3.0 中有介绍，为可选项，仅适用于 DRP 角色。它可以为失去供电能力的 source 提供快速交换电源角色的解决方案。

处于 source (SRC) 模式的 DRP 发出“FRS”信号作为报警条件，以便尽快交换电源角色（即 VBUS source）。通常，这在没有本地电池的情况下非常有用。

使用 VCONN 功能时，FRSTX1 和 FRSTX2 通过 MOSFET 对 CC1 和 CC2 线路放电。

图 40. 快速角色交换 DRP 模式电路



13.5 监视 VBUS 电压和电流

保护和安全

直流/直流转换器电路（如 L7987）用于生成 VBUS 和 VCONN，并且内置了 OTP / OVP / OCP 生成功能。为安全起见，这些错误可在用户应用层通过软件处理。为此，可将 DC/DC 故障输出信号传送至 STM32 端的 EXTI。

PD 协议

SNK 端口或用作 power sink 的 DRP 测量 VBUS 电平，以在软件端处理 REQUEST_ACCEPT / PS_RDY / DETACH 协议消息。为此，STM32 端需要一个 ADC。

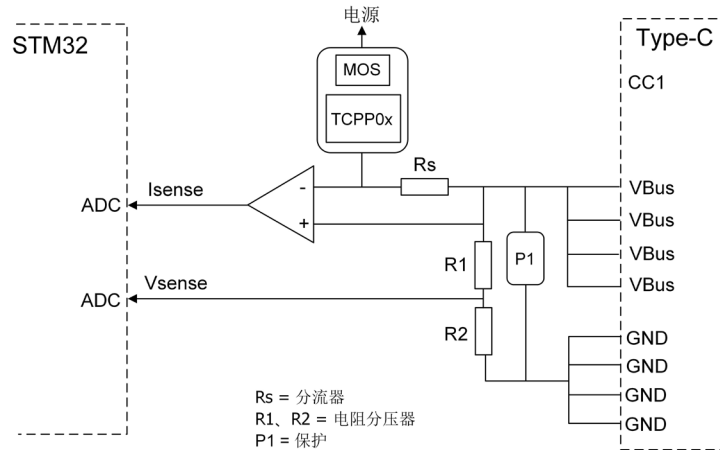
对于 PDO 或 APOD 用例，SRC 端口或用作 power source 的 DRP 为 VBUS 供电，并（通过监视和控制 DC/DC 转换器）将其电压保持在指定目标范围内。

方法

要测量可选的 VBUS 电流，请使用低电阻分流器。要测量 VBUS 电压，可使用基本的电阻桥。出于过压保护 (OVP) 和安全方面的考虑，可选择添加一个运算放大器。

注：可使用 TSC1641、TSC2011 和 TSC2012 精密双向电流检测放大器。请参见 www.st.com 上的数据手册。

图 41. VBUS 电压和电流监视电路



注：可在 Isense 和 Vsense 上增加额外保护（图 41 中的 P1）。请参见第 14 节“建议”。

13.6 双角色电源端口

图 42 和表 16 给出了基于 STM32G0 和 TCPP03 意法半导体产品编号的双角色电源端口应用示例。

NUCLEO-G071RB 和 X-NUCLEO-DRP1M1 可用于快速原型开发。

图 42. STM32G0 引脚/资源分配

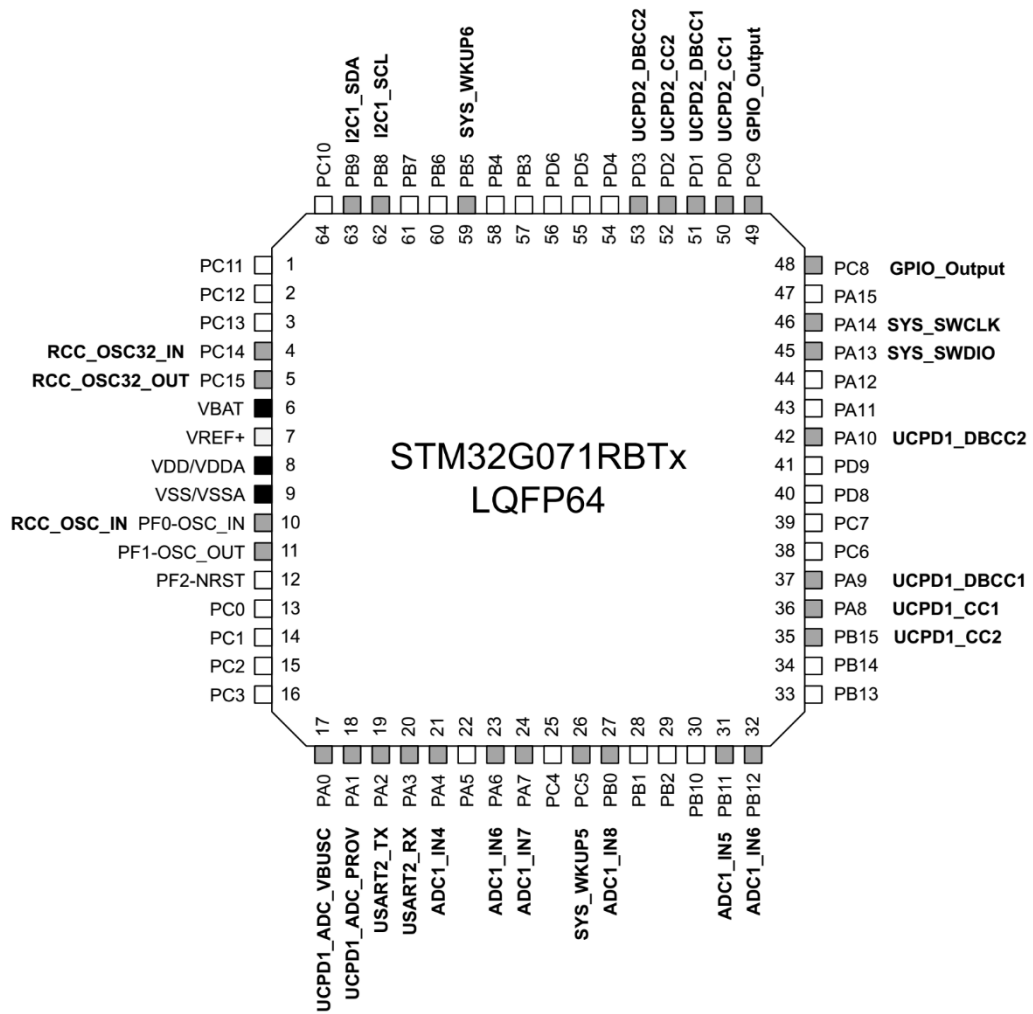


表 16. STM32G0 资源

项目	X-NUCLEO G0-1 地址: 0x68	X-NUCLEO G0-2 地址: 0x6A	STM32G0 IO UCPD1 左 - UCPD2 右		备注
I2C1 SCL	CN10-3 ⁽¹⁾		PB8		■
I2C1 SDA	CN10-5 ⁽¹⁾		PB9		■
CC1	C10-23/C10-17 ⁽¹⁾	CN7-9 ⁽¹⁾	PA8	PD0	■
CC2	C10-26/C10-27 ⁽¹⁾	CN7-4 ⁽¹⁾	PB15	PD2	■
GPIO Flgn	CN10-37 ⁽¹⁾	CN10-29 ⁽¹⁾	PC5	PB5	唤醒 GPIO
ADC Vbusc	CN7-28 ⁽¹⁾	CN10-13 ⁽¹⁾	PA0/IN0	PA6/IN6	■
ADC Prov	CN7-30 ⁽²⁾	CN10-15 ⁽²⁾	PA1/IN1	PA7/IN7	■
ADC Cons	CN7-32 ⁽²⁾	CN10-17 ⁽²⁾	PA4/IN4	PB0/IN8	■
ADC Isense	CN7-36 ⁽²⁾	CN10-38 ⁽²⁾	PB11/IN15	PB12/IN16	■
ENABLE	CN10-2	CN10-1	PC8	PC9	通过 GPIO 连接 Vddl
D+	CN10-12	■	PA12	N/A	STM32G0 上只有 1 个端口
D-	CN10-14	■	PA11	N/A	
CC1 DB	CN10-21 ⁽²⁾	CN7-10 ⁽²⁾	PA9	PD1	■
CC2 DB	CN10-33 ⁽²⁾	CN7-11 ⁽²⁾	PA10	PD3	■
USART2	ST-link 部分 ⁽³⁾		PA2-PA3		用于跟踪
LED	CN10-11 ⁽³⁾		PA5		用于调试

1. 强制

2. 可选

3. 用于调试

14 建议

14.1 USB Type-C® 的 ESD/EOS 保护器件

专用 ESD 和 EOS 保护可用于下列各种线路：

- V_{BUS} Power Delivery 信号
- D+/D-

如果射频靠近连接器，则使用 USBLC6-2P6，否则使用 ECMF2-40A100N6。

- Tx/Rx 超高速

如果射频靠近连接器，则使用 HSP051-4xx，否则使用 ECMF4-40A100N10。

- 通用标准线路

如果符合 20 V 规范，则使用 ESDA25L

如果符合 5 V 规范，则使用 ESDA6V1。此时若短接至 V_{BUS} 且电压高于 5 V，会导致线路损坏。

TCP01 系列为 STM32 (FT I/O) 内置了 ESD 和 OVP 保护功能。

- SBU 线路

如果符合 20 V 规范，则使用 ESDA25L

如果符合 5 V 规范，则使用 ESDA6V1。此时若短接至 V_{BUS} 且电压高于 5 V，会导致线路损坏。

有关更多信息，请参见第 1.2 节和 www.st.com（搜索 Type-C 保护）。

对于供电设备，必须根据 V_{BUS} 上的电压（可能高于 5 V）选择 TVS：

- 对于 5 V V_{BUS}，使用 ESDA7P120-1U1M
- 对于 9 V V_{BUS}，使用 ESDA13P70-1U1M
- 对于 12 V V_{BUS}，使用 ESDA15P60-1U1M
- 对于 15 V V_{BUS}，使用 ESDA17P50-1U1M
- 对于 20 V V_{BUS}，使用 ESDA25P35-1U1M

对于受电设备，建议使用 TVS (ESDA25P35-1U1M) 和过压保护器件（TCP01-M12 或 TCP03-M20），以避免在适配器以最大电压供电时发生损坏。

14.2 CC 线路上的电容

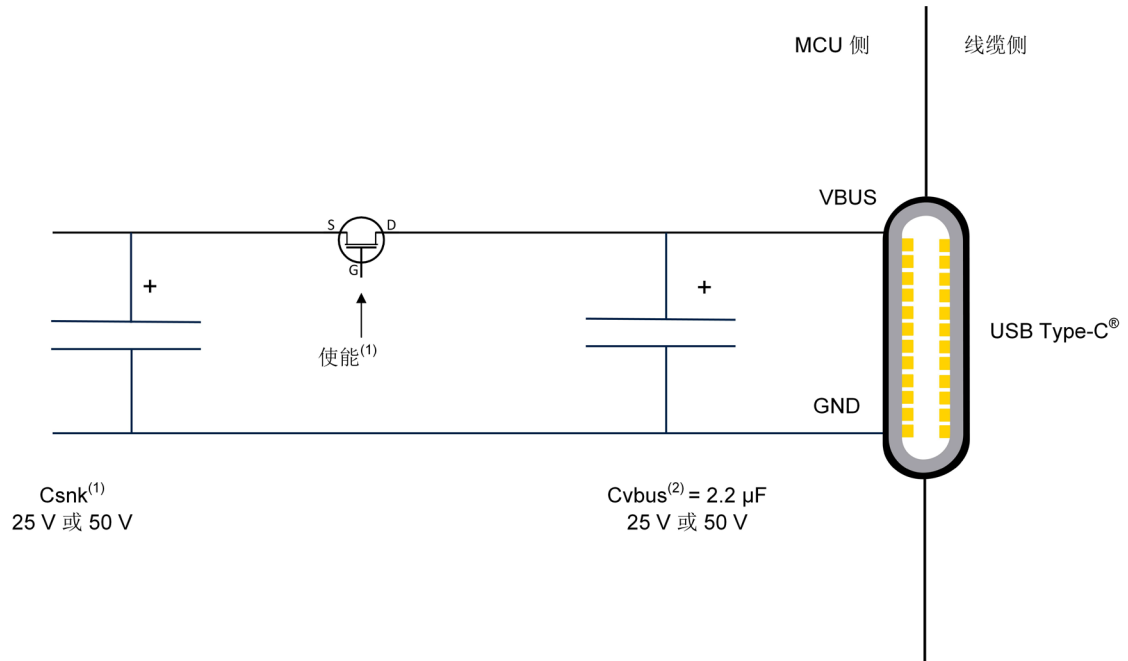
USB PD 规范允许 CC 接收器 (cReceiver) 的电容范围为 200 pF 至 600 pF。

为了进行噪声滤波，必须在靠近 Type-C 连接器的每条 CC 线路上额外添加一个 390 pF +/- 10% 的电容。使用 TCP0x 时，这些电容必须添加到 TCP0x 和 Type-C 连接器之间，尽可能靠近 Type-C 连接器。

14.3 VBUS 线路上的电容

14.3.1 sink 模式

图 43. Sink 模式方案

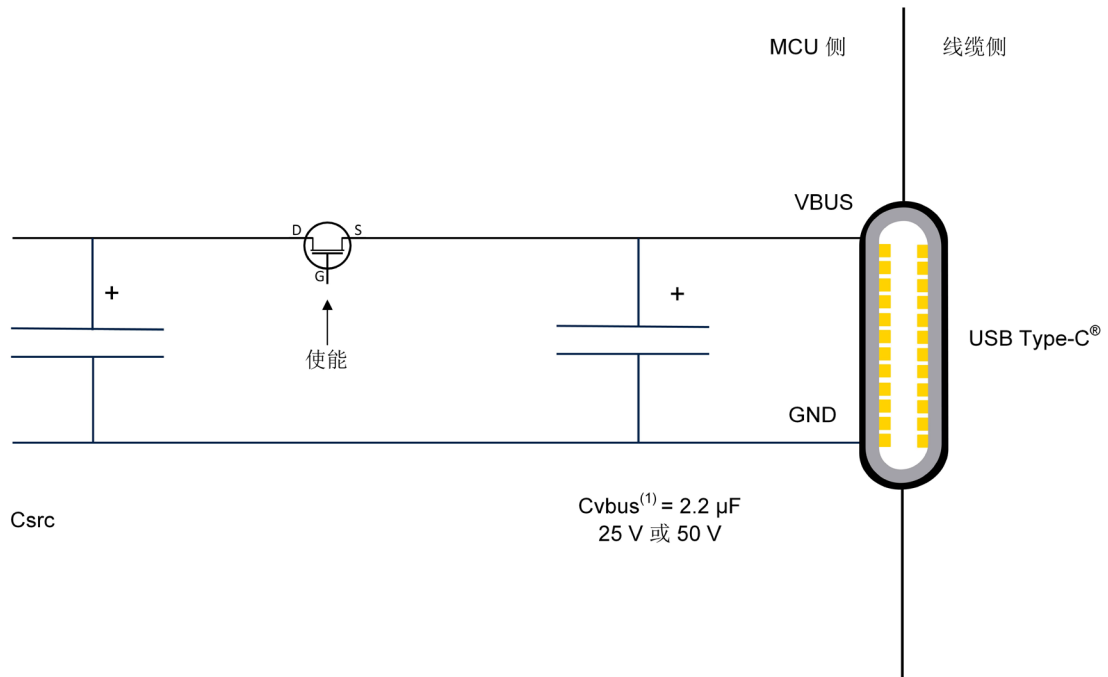


DT71674V1

- 注:
- 1 根据 C_{snk} 电容值, MOS 上升时间必须符合 USB 浪涌电流 (请参见第 14.3.4 节“如何限制 Sink 模式下的浪涌电流”)。
 - 2 使用 $C_{vbuss} = 2.2 \mu F$, 以符合 $cSnkBulk$ 范围。

14.3.2 SRC 模式

图 44. SRC 模式方案

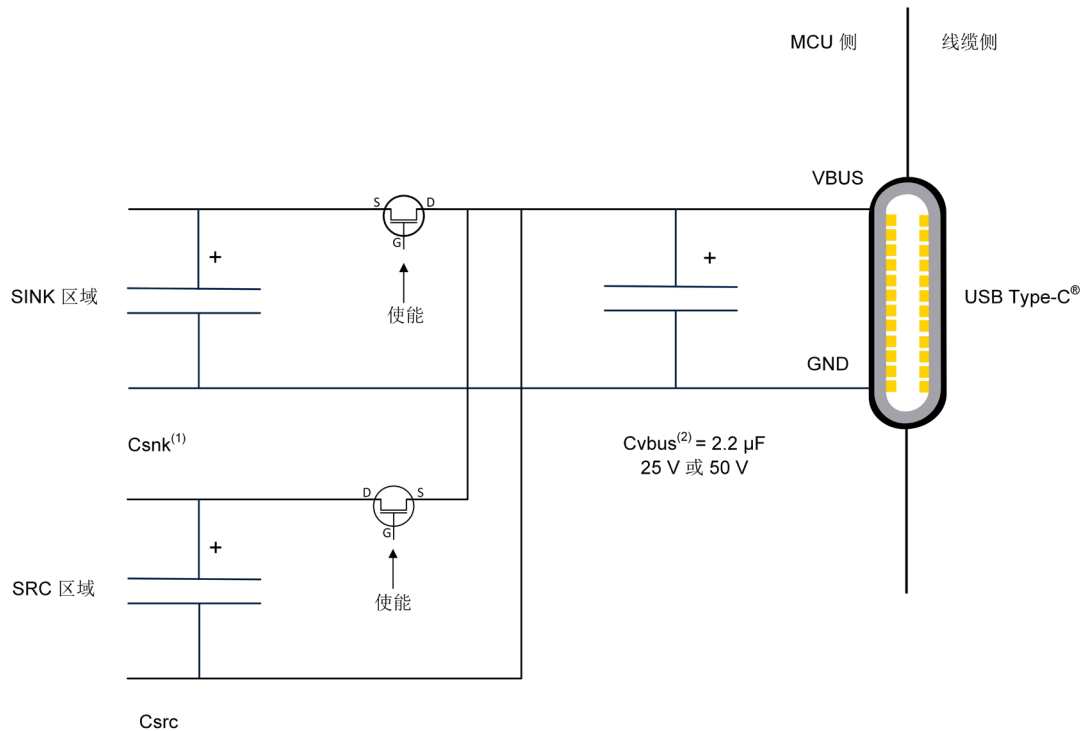


注: 1. 使用 $C_{vbuss} = 2.2 \mu F$ 。

DT1675V1

14.3.3 DRP 模式

图 45. DRP 模式方案



DT71676V1

- 注:
- 1 根据 C_{snk} 电容值, MOS 上升时间必须符合 USB 浪涌电流的要求 (请参见第 14.3.4 节“如何限制 Sink 模式下的浪涌电流”)。
 - 2 使用 $C_{bus} = 2.2 \mu F$ 。

14.3.4 如何限制 Sink 模式下的浪涌电流

对于 Mos 命令的使能功能, 可在栅极和漏极之间添加一个电容 C_{dg} , 以限制浪涌电流和 OCP。建议每 $10 \mu F$ 使用 $100 pF$ (C_{snk}) 的电容。更多详细信息, 请参见图 43. Sink 模式方案和图 45. DRP 模式方案, 并查阅用户手册 [12]。

14.4 TCPP01、TCPP02 和 TCPP03 Type-C 端口保护器件

确定了两种 Type-C Power Delivery 故障模式:

- 当使用机械质量较差的连接器拔下插头时，CC 线路会出现 VBUS 高压短路。因此，CC 线路需要过压保护。只有在使用 Power Delivery 时才会出现这种用例。
- 如果充电器始终保持在高电压上，VBUS 线路会受到影响。因此，VBUS 线路需要过压保护。即使不使用 Power Delivery，也会出现这种用例。

专用的单个 TCPP01、TCPP02 或 TCPP03 芯片可用于系统保护。它们为保护低压 MCU 或其他执行 USB Type-C Power Delivery 的控制器提供了经济高效的解决方案：

- *TCPP01-M12*, 用于 power sink 保护
- *TCPP02-M18*, 用于 power source 保护
- *TCPP03-M20*, 用于保护双角色电源方案。

TCPP01-M12、TCPP02-M18 和 TCPP03-M20 在 CC 线路上提供 20 V 短路至 VBUS 过压和 IEC ESD 保护，并通过 VBUS 线路的 NMOS 栅极驱动器提供可编程过压保护。它们还集成了 DB 管理功能，可以针对电池供电设备完全关闭，同时还会生成故障报告。

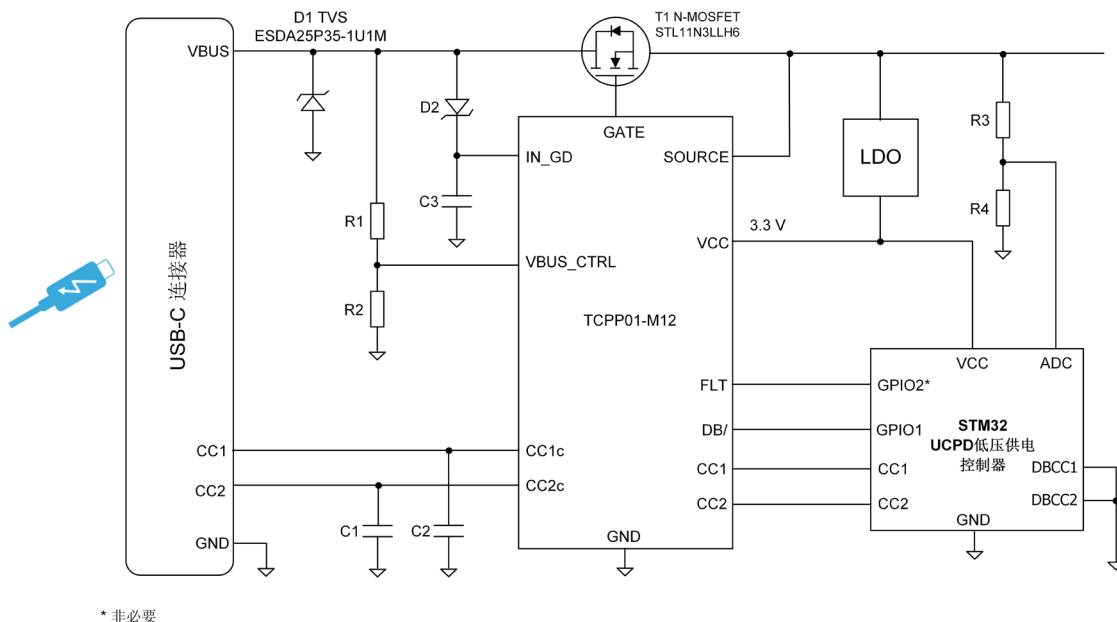
TCPP02-M18 和 TCPP03-M20 还集成了双 VBUS 栅极驱动器和 I2C 通信接口，非常适合双端口应用。

VBUS (ESDA25P35-1U1M) 上仍需要 TVS，随后只需考虑最大电压。更多详细信息，请参见 TCPP01、TCPP02 和 TCPP03 数据表 [3]、[4] 和 [5]。

14.4.1 SNK 或 sink 电源应用

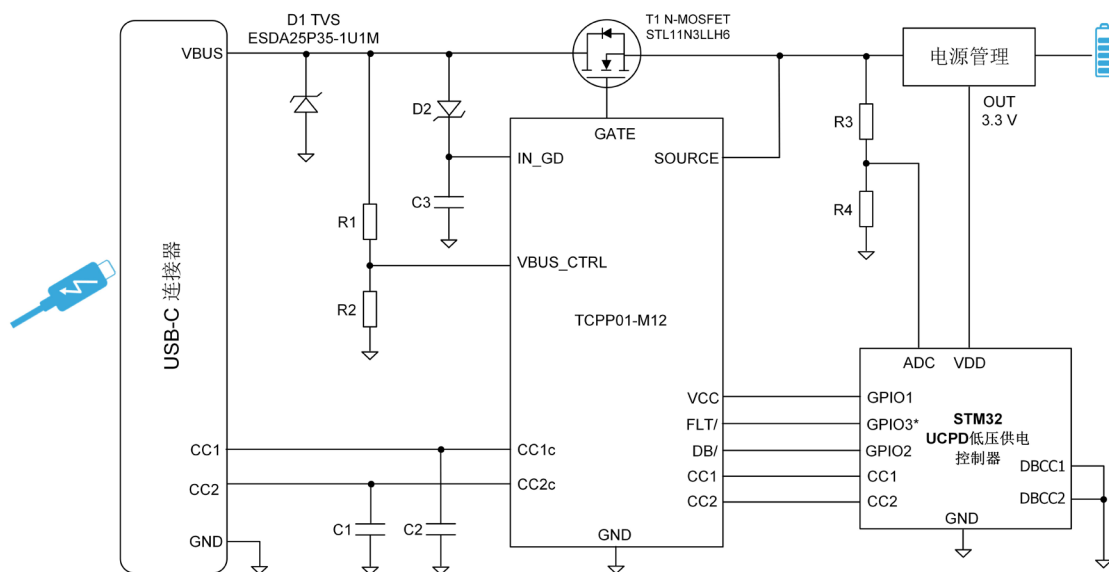
下图显示了从 USB Type-C 连接器 VBUS 线路汲取全部功率的 sink 应用。

图 46. 完全由 VBUS 供电的 sink



- FLT（故障）是一个开漏输出引脚。
- DB/ 是一个下拉 TCPP 输入。如果不由 MCU 软件管理，则将其连接到 3.3 V。

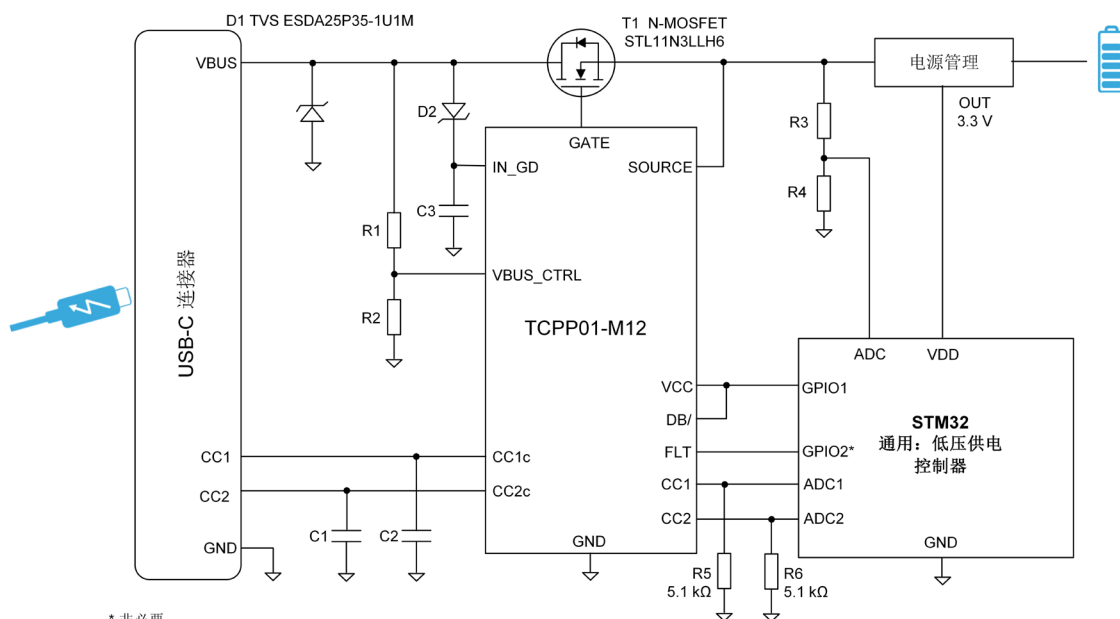
图 47. 带电池的 sink 应用 (PD3.0)



★ 非必要

- FLT（故障）是一个开漏输出引脚。
- DB/ 是一个下拉 TCPP 输入。如果不由 MCU 软件管理，则将其连接到 3.3 V。

图 48. 帶電池的 15 W sink 應用



* 非必要

- FLT（故障）是一个开漏输出引脚，如果未连接，则保持开路状态。
- 当 GPIO1 为低电平时，TCPP01-M12 关闭，电流消耗为零。
- 当 GPIO1 为低电平时，TCPP01-M12 接通，ADC1 或 ADC2 检查 source 能力。

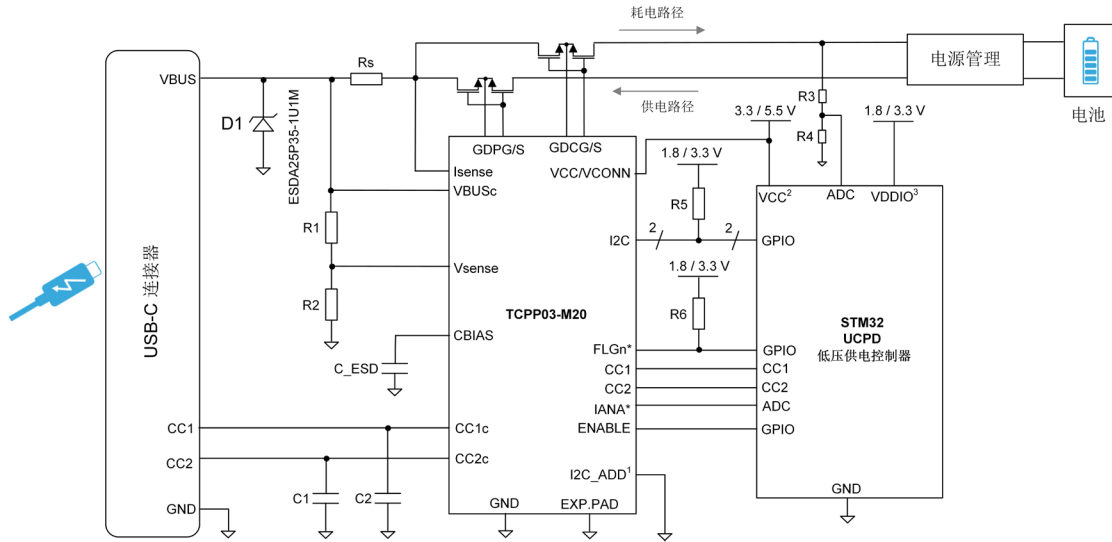
在 DB 的情况下，以下顺序适用：

1. TCPP01-M12 在 CC1 和 CC2 线路上提供 DB 钳位 (1.1 V)。
2. Source 检测钳位是否存在，并向 VBUS 施加 5 V 电压。
3. N-MOSFET T1 正常导通，电源管理模块的供电电压为 5 V。
4. MCU 唤醒，并在 GPIO1 上施加 3.3 V 电压以唤醒 TCPP01-M12。
5. TCPP01-M12 释放 CC1 和 CC2 线路上的钳位，使 ADC1 或 ADC2 可以通过 R5 或 R6 两端的电压感应 SOURCE 引脚的能力。

14.4.2 DRP 或双角色电源应用

图 49 显示了使用专用电源管理的 DRP 应用。

图 49. 电池 DRP 应用示例



1. I2C_ADD 可连接至 GND 或 VddIO
2. VCC IO 环: (3.3 V +/- 10%, 5 V +/- 10%)
3. VDDIO 环: (1.8 V +/- 5%, 3.3 V +/- 10%)
4. * - 非必要

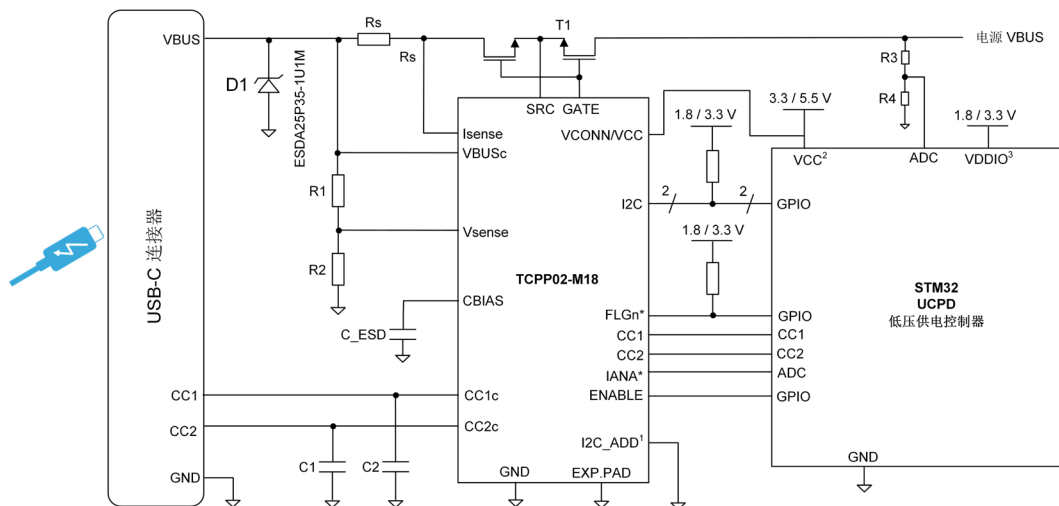
注: 如果 TCPP(02/03) 的 ENABLE 引脚用于上电复位, 则上升时间必须短于 50μs。更多详细信息, 请参见文档[12]。

DT70060V2

14.4.3 SRC 或 source 电源应用

图 50 显示了使用专用电源管理的 SRC 应用。

图 50. 使用专用电源管理的 SRC 应用



- | | |
|---|---|
| 1. I2C_ADD (I2C 地址): 可连接至 GND 或 VddIO | 3. VDDIO 环: (1.8 V +/- 5%, 3.3 V +/- 10%) |
| 2. VCC IO 环: (3.3 V +/- 10%, 5 V +/- 10%) | 4. *- 非必要 |

DT70061V1

注: 如果 TCPP(02/03) 的 **ENABLE** 引脚用于上电复位, 则上升时间必须短于 50 μ s。更多详细信息, 请参见文档 [13]。

14.4.4 处理 DB 状态

TCPP01

对于 TCPP01 器件, DB/(DB 电阻管理) 引脚是一个下拉低电平有效的 TCPP01 输入。DB/ 引脚可连接到 VCC 或由 MCU GPIO 驱动。

只要 **DB/** 输入为低电平（连接到地或保持开路并通过内置的 **5 k Ω** 下拉电阻连接到低电平），**DB** 电阻就会连接，**CC** 开关也会断开（关断状态）。

当 DB/ 引脚连接到 VCC 时，CC 引脚上的 DB 电阻断开，CC 开关闭合（接通状态）。

DB/ 用法 (sink 应用) :

- 系统上电后，DB/ 引脚必须保持低电平，以便激活 TCPP01 的 DB Rd。
- 在 STM32 CC 引脚上使能 DB Rd 后，必须将 DB/ 引脚设置为高电平。

TCPP03

芯片中集成了 DB 管理功能。请参见 TCPP03 数据手册 [5] 的“电源模式”一章。

14.5 USB HS 情况下的电磁兼容性考虑因素

为了降低 D+/D- 线活动对 VBUS 的噪声影响, 可在 VBUS 和 GND 之间靠近 Type-C 连接器的位置添加一个 100 pF 的电容。

14.6 Sink 情况下的 VBUS 浪涌电流考虑因素

为限制 VBUS 上的浪涌电流，可在连接到 TCPP01 栅极引脚的功率开关 MOS 漏极和栅极之间增加一个 100 pF 电容（应用侧每增加一个 10 μ F 去耦电容时）。

14.7 Sink 情况下的 VBUS 过冲考虑因素

为限制 VBUS 上的过冲，可在靠近 Type-C 连接器的 VBUS 和 GND 之间添加一个阻尼滤波器。

例如：一个 1 μ F 的电容和一个 4.7 μ F 的电容并联，随后与一个 1 Ω 的电阻串联，可以减少过冲幅度。

14.8 VBUS 放电

在 SRC 或 Source 电源应用中，可使用额外的放电电路。请参见图 25. Source 架构。

TCPP02 和 TCPP03 中集成了 VBUS 放电功能。有关更多信息，请参见相应的数据手册 [4]、[5]。

14.9 VBUS 感应检测

请参见使用 STM32 MCU 的 USB 硬件和 PCB 指南简介应用笔记 (AN4879) 中的“VBUS 感应检测”一章。

通过 CC 线路的 USB Power Delivery 协议被定义为 USB2.0 和 USB3.1 的扩展，仅适用于使用 Type-C 连接器。

协议目的

该协议的目的是协商通过 USB Type-C® 线缆连接的设备的供电能力和供电要求，以便安全地将 power source 设备的电力输送到 power sink 设备。

该协议与 Type-C 连接相结合，可将 Power Delivery 的最大功率提升至 100 W（20 V 时为 5 A）。

Power Delivery 角色（source 或 sink）与上行/下行端口角色分离。例如，USB 设备/集线器（上行端口）可向 USB 主机（下行端口）供电。在初始连接期间，UFP 为 sink，DFP 为 source。两个角色对（source/sink 和 UFP/DFP）均可通过 Type-C 连接进行交换。

新的 Type-C 线缆附加引脚

新的 Type-C 线缆新增了两条用于配置控制的线路 CC1 和 CC2。

可选择将其中一个引脚配置为 VCONN 电源，以便为外部附件供电。在这种情况下，该引脚的信令功能不可用。

Power Delivery 端口 - 上拉/下拉电阻

作为支持 Power Delivery 协议的 Type-C 端口的设备必须将 CC 线路上拉或下拉：

- Power source：上拉， R_p 等于三个指定值之一，具体取决于 sink 的供电要求
- Power sink：下拉， R_d 等于指定值
- 双角色电源端口：根据实际角色，可用作 power source 或 power sink。

系统连接

经过去抖期后，系统会变为连接状态：

- 在 CC 上，Power Delivery 消息传送功能可用于通过 CC 线路进行通信
 - 供电能力，例如超过 5 V/3 A
 - 电源角色交换
 - 数据角色交换（类似于 OTG 中的 HNP）
 - VCONN 交换
- 在 VCONN 上：看到 R_a 电阻时，必须提供 5 V 电源

单个 Type-C 端口引脚

- source/sink/DRP 端口情况：
 - 两个 CC 引脚 (CC1/CC2) 允许未知的线缆方向
- 线缆和附件情况：
 - 方向是预先确定的
 - 需要单个 CC 引脚

支持 DB 功能

Type-C SINK 设备的 DB 功能表现为：当 SINK 设备未通电时，在 CC 线上接入一个规定阻值的下拉电阻，或者接入一个钳位电压。这会被解读为请求接收 VBUS 供电。因此，这有助于为电池耗尽的设备充电，也能为不带电池的设备供电。

Type-C power source（如壁式充电器）不得提供 DB 信令。

修订历史

表 17. 文档修订历史

日期	版本	变更
2019 年 4 月 24 日	1	初始版本。
2019 年 9 月 26 日	2	<p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 引言部分 第 1.2 节“参考文档” 表 8. 固定和可编程电源电流及布线要求 图 25. Source 架构 图 29. 带 FRS VBUS = 5 V / 9 V / 15 V 连接的 DRP 图 38. 在 CC 线路上施加 VCONN 图 46. 完全由 VBUS 供电的 sink 图 47. 带电池的 sink 应用 (PD3.0) 第 14.4.1 节“SNK 或 sink 电源应用” 图 48. 带电池的 15 W sink 应用 <p>增加了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 图 8.USB Type-C Power Delivery 框图和图 9. STM32G0 探索套件 USB Type-C 分析仪 新增图 27. DRP 连接 新增图 1 <p>从第 14.4 节“TCPP01、TCPP02 和 TCPP03 Type-C 端口保护器件”中删除了 Source 和 Source/Sink 模式说明小节。</p>
2020 年 9 月 1 日	3	<p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 引言部分 第 1.2 节“参考文档” 第 5 节“功率曲线” 第 9 节“产品提供” 第 11 节“使用集成 UCPD 外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C”、第 11.3 节“硬件概述” 第 12 节“使用通用外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C”、第 12.2 节“硬件概述” 第 13 节“专用架构建议和解决方案” 第 14 节“建议”
2021 年 9 月 14 日	4	<p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 1.2 节“参考文档” 表 14. Source 功能 第 13.5 节“监视 VBUS 电压和电流”和图 41 第 14.4 节“TCPP01、TCPP02 和 TCPP03 Type-C 端口保护器件”（并重新整理了后续的各小节）。 <p>增加了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 13.6 节“双角色电源端口” 第 14.4.2 节“DRP 或双角色电源应用” 第 14.6 节“Sink 情况下的 VBUS 浪涌电流考虑因素” 第 14.7 节“Sink 情况下的 VBUS 过冲考虑因素” 第 14.8 节“VBUS 放电”
2021 年 10 月 12 日	5	<p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 引言部分
2022 年 3 月 16 日	6	<p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 图 48. 带电池的 15 W sink 应用

日期	版本	变更
		<ul style="list-style-type: none"> 图 49. 电池 DRP 应用示例 图 50. 使用专用电源管理的 SRC 应用
2023 年 6 月 23 日	7	<p>增加了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 11.2 节“STM32 MPU 软件概述” 第 14.3 节“VBUS 线路上的电容” VBUS 感应检测 <p>更新了：</p> <ul style="list-style-type: none"> 引言部分 第 1.2 节“参考文档” 第 11.1 节“STM32 MCU 软件概述”

目录

AN5225.....	1
1 概述	2
1.1 缩写和缩略语	2
1.2 参考文档	3
2 USB Type-C 概述	4
2.1 USB Type-C® 术语	5
2.2 最小强制功能集	5
3 连接器引脚映射	6
3.1 VBUS 供电选项	7
4 CC 引脚	8
4.1 插头方向/线缆扭结检测	8
4.2 功率容量检测和使用	10
5 功率曲线	11
6 USB Power Delivery 2.0	12
6.1 Power Delivery 信令	12
6.1.1 数据包结构	12
6.1.2 K 代码	12
6.2 协商供电	13
7 USB Power Delivery 3.0	14
8 复用模式	15
8.1 复用引脚重新分配	15
8.2 Billboard	16
9 产品提供	17
10 不带 Power Delivery 功能的 Type-C	19
10.1 针对 USB Type-C 平台的 STM32 仅 USB2.0 设备转换	19
10.2 针对 USB Type-C 平台的 STM32 USB2.0 主机转换	19
10.3 针对 USB Type-C 平台的 STM32 传统 USB2.0 OTG 转换	20
11 使用集成 UCPD 外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C	22

11.1	STM32 MCU 软件概述	22
11.2	STM32 MPU 软件概述	23
11.3	硬件概述	24
11.3.1	DBCC1 和 DBCC2 系列	25
11.3.2	Sink 端口	30
11.3.3	Source 端口	35
11.3.4	双角色电源端口	39
11.3.5	带 FRS 的双角色电源端口	43
12	使用通用外设实现 Power Delivery 功能的 Type-C	46
12.1	软件概述	46
12.2	硬件概述	46
12.2.1	使用 TCPM/TCPC 接口的 sink 端口	47
12.2.2	使用 TCPM/TCPC 接口的 Source 端口	48
12.2.3	使用 TCPM/TCPC 接口的双角色电源端口	49
13	专用架构建议和解决方案	50
13.1	向 VBUS 供电	50
13.2	利用 GPIO 控制 DC/DC 输出	51
13.3	在 CC 线路上施加 V _{CONN}	52
13.3.1	时间线	53
13.4	FRS 信令	54
13.5	监视 VBUS 电压和电流	55
13.6	双角色电源端口	56
14	建议	58
14.1	USB Type-C® 的 ESD/EOS 保护器件	58
14.2	CC 线路上的电容	58
14.3	VBUS 线路上的电容	59
14.3.1	sink 模式	59
14.3.2	SRC 模式	60
14.3.3	DRP 模式	61
14.3.4	如何限制 Sink 模式下的浪涌电流	61

14.4	TCPP01、TCPP02 和 TCPP03 Type-C 端口保护器件.....	62
14.4.1	SNK 或 sink 电源应用	62
14.4.2	DRP 或双角色电源应用	65
14.4.3	SRC 或 source 电源应用	66
14.4.4	处理 DB 状态	66
14.5	USB HS 情况下的电磁兼容性考虑因素	66
14.6	Sink 情况下的 VBUS 浪涌电流考虑因素.....	67
14.7	Sink 情况下的 VBUS 过冲考虑因素	67
14.8	VBUS 放电	67
14.9	VBUS 感应检测	67
15	附加信息.....	68
	修订历史	69

表格索引

表 1.	意法半导体生态系统文档	3
表 2.	USB Type-C 插座引脚说明	6
表 3.	供电选项	7
表 4.	连接设备状态 - SOURCE 端视角	8
表 5.	DFP CC 终端 (Rp) 的要求	10
表 6.	UFP CC 终端 (Rd) 的要求	10
表 7.	Sink CC 引脚上的电压	10
表 8.	固定和可编程电源电流及布线要求	11
表 9.	CC 线路上的 USB Type-C sink 行为	25
表 10.	非防护 SINK 设备 - 退出 DB 模式的顺序	26
表 11.	受保护的 SINK 应用 - 退出 DB 模式的顺序	28
表 12.	主要 Type-C 应用拓扑汇总	30
表 13.	Sink 功能	31
表 14.	Source 功能	36
表 15.	双角色电源端口功能	40
表 16.	STM32G0 资源	57
表 17.	文档修订历史	69

图片索引

图 1.	USB 连接器	4
图 2.	插座引脚排列	6
图 3.	上拉/下拉 CC 检测	9
图 4.	功率曲线	11
图 5.	SOP* 信令	12
图 6.	可用于通过全功能线缆重新配置的引脚	15
图 7.	可用于直连应用重新配置的引脚	16
图 8.	USB Type-C Power Delivery 框图	17
图 9.	STM32G0 探索套件 USB Type-C 分析仪	17
图 10.	使用 USB Type-C 插座的传统设备	19
图 11.	使用 USB Type-C 插座的传统主机	20
图 12.	使用 USB Type-C 插座的传统 OTG	21
图 13.	USB Power Delivery 协议栈架构	22
图 14.	STM32 MPU 软件概述	23
图 15.	器件引脚排列示例	24
图 16.	支持低电量功能的非受保护 sink 应用	26
图 17.	不支持低电量功能的非受保护 sink	27
图 18.	支持低电量功能的受保护 sink 应用	28
图 19.	不支持低电量功能的受保护 sink 应用 - 通过电源激活	29
图 20.	不支持低电量功能的受保护 sink 应用 - 通过专用输入激活	29
图 21.	未受保护的 VBUS 供电（低电量）sink 连接	32
图 22.	VBUS 供电的 sink 时间线	33
图 23.	SNK 外部电源连接	34
图 24.	Sink 外部电源时间线	35
图 25.	Source 架构	37
图 26.	SRC (source) 模式电源时序	38
图 27.	DRP 连接	41
图 28.	使用 FRS 模式的 DRP 时间线示例	42
图 29.	带 FRS VBUS = 5 V / 9 V / 15 V 连接的 DRP	43
图 30.	使用 FRS 的 DRP 时间线示例	44
图 31.	带通用外设的 Type-C Power Delivery 硬件视图	46
图 32.	使用 TCPM/TCPC 接口的 sink 端口	47
图 33.	使用 TCPM/TCPC 接口的 Source 模式	48
图 34.	使用 TCPM/TCPC 接口的双角色电源端口	49
图 35.	向 VBUS 供电	50
图 36.	使用开关电阻桥设置 V_{Ref}	51
图 37.	利用 PWM GPIO 设置 V_{Ref}	51
图 38.	在 CC 线路上施加 V_{CONN}	52
图 39.	应用 V_{CONN} - 时间线示例	53
图 40.	快速角色交换 DRP 模式电路	54
图 41.	VBUS 电压和电流监视电路	55
图 42.	STM32G0 引脚/资源分配	56
图 43.	Sink 模式方案	59
图 44.	SRC 模式方案	60
图 45.	DRP 模式方案	61
图 46.	完全由 VBUS 供电的 sink	62

图 47.	带电池的 sink 应用 (PD3.0).....	63
图 48.	带电池的 15 W sink 应用.....	63
图 49.	电池 DRP 应用示例	65
图 50.	使用专用电源管理的 SRC 应用.....	66

重要通知——请仔细阅读

意法半导体及其子公司（“ST”）保留随时对意法半导体产品和/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意法半导体产品的最新信息。意法半导体产品的销售依照订单确认时的相关意法半导体销售条款。

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

意法半导体不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的意法半导体产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致意法半导体针对该产品授予的任何保证失效。

意法半导体和意法半导体徽标是意法半导体的商标。关于意法半导体商标的其他信息，请访问 www.st.com/brands。所有其他产品或服务名称是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。

© 2023 STMicroelectronics - 保留所有权利