

www.microchip.com 产品页面: [AVR16DU14](#)、[AVR16DU20](#)、[AVR16DU28](#)、[AVR16DU32](#)、[AVR32DU14](#)、[AVR32DU20](#)、[AVR32DU28](#)、[AVR32DU32](#)、[AVR64DU28](#)和[AVR64DU32](#)

简介

作者: Microchip Technology Inc. Robert Perkel

通用串行总线 (Universal Serial Bus, USB®) 是一种常用的串行接口, 可用于连接多种设备。但与串行外设接口 (Serial Peripheral Interface, SPI)、I²C 或通用异步收发器 (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter, UART) 相比, USB 的实现要求更加复杂。本文简要介绍了在配置 USB 2.0 全速 (FS) 单片机 (如 [AVR® DU 系列单片机](#)) 时常见的实现错误。

适用范围

本文仅涉及 USB 2.0 全速 (FS) 设备端的实现。其他 USB 版本有不同的要求和规范。



重要: USB 规范可从 USB-IF 获取。有关 USB 合规性的更多信息, 请访问 www.usb.org/developers。

1. 调试工具

在深入探讨可能出现的具体问题之前，首先需要考虑用于调试接口的工具。

1.1 软件工具

这些工具采用不同的开源许可证协议。请查阅各项目的文档以获取相关条款和条件的详细信息。

1.1.1 通用总线数据包捕获工具（USBPcap）和Wireshark

Wireshark是一款免费的网络协议分析工具，通常用于网络连接分析。其插件之一USBPcap是一款开源驱动程序插件，可以捕获USB数据包。USBPcap作为可选组件，可以与Wireshark一起安装。

USBPcap有助于分析单片机与主机之间的原始USB通信流量。它已集成在Wireshark的安装包中。

Wireshark: www.wireshark.org/

USBPcap: github.com/desowin/usbpcap

1.1.2 通用串行总线查看器（USBView）

USBView 是一款工具，允许开发人员查看其计算机上的所有 USB 连接，并枚举每个设备的属性，这有助于排查设备识别或配置错误。

可从Microsoft®网站作为Windows® SDK的一部分获取，或作为单独的示例程序提供：

learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/debugger/usbview

1.2 硬件工具

有各种各样的逻辑分析仪和示波器可以分析 USB 流量，尤其是 USB 2.0 FS，与较新的规范相比，其速度并不算特别快。

2. 电气问题

2.1 常见USB问题

这些问题适用于所有USB实现。USB总线运行速度越快，这些参数就越关键。所需的具体电气参数（如特性阻抗）可在[USB规范](#)中查阅。

2.1.1 长度不匹配

USB 是一种差分信号协议。为了确保正负信号能够同时到达，信号对的长度必须匹配，以保证数据同步到达。如果长度不匹配程度过大，收发器可能会在其中一个信号线上接收到错误的数值，从而导致通信错误。

2.1.2 阻抗不匹配

USB 信号对也需要进行阻抗控制。信号对之间的阻抗（差分阻抗）以及信号与地之间的阻抗（单端阻抗）都有明确的要求。在电路板设计中，必须保持这些阻抗的一致性，以避免产生不必要的信号反射和其他损耗。



提示：为了获得最佳效果，应在差分对下方保持一块连续、无中断的接地层，并避免在其附近布设其他信号线。可以使用各种免费的计算器，根据电路板参数计算出所需的走线间距。

2.2 USB Type-C®

USB Type-C® 由于其通用、可正反插的接口设计，并且能够支持多种不同速率和高级功能，正在被越来越广泛地使用。因此，USB Type-C 连接器会根据其支持的功能有所不同。例如，有些 USB-C 连接器仅支持 USB 2.0，这样可以减少引脚数量并降低连接器成本。有些型号则仅支持供电，不提供数据线。

2.2.1 CC 电阻与设备

USB Type-C 需要在配置通道（CC）线上添加元件，以识别设备。CC 通道允许设备检测线缆的插入方向，并检测（或请求）来自主机的电源。

在设备端，通常会在每根 CC 线与地之间连接一个 5.1 kΩ 的电阻，用于指示设备已插入并连接。设备可以通过监测该电阻两端的电压，来判断可用的电流上限。在某些情况下，例如 USB Power Delivery（USB PD），会用有源电路代替电阻，以便与主机和线缆进行通信和电源协商。

注：高级实现方式（如 USB PD）不在本文档的讨论范围之内。

如果 CC 线配置不正确，主机可能无法检测到已插入的设备，从而不会供电。

3. 结论

虽然在像 [AVR DU](#) 这样的单片机上实现 **USB** 看起来令人望而生畏，但实际上只要遵循高速设计的常见设计规则，是可以实现的。更多关于 **USB** 的信息可以从 [USB-IF](#) 获取。

4. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	01/2025	文档的初始版本。

Microchip 信息

商标

“Microchip”名称和徽标、“M”徽标及其他名称、徽标和品牌均为 Microchip Technology Incorporated 或其关联公司和/或子公司在美国和/或其他国家/地区的注册商标和未注册商标（“Microchip 商标”）。有关 Microchip 商标的信息，可访问 <https://www.microchip.com/en-us/about/legal-information/microchip-trademarks>。

ISBN: 979-8-3371-1560-3

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。您须自行确保应用符合您的规范。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。