

Application Note

I2C 总线上拉电阻计算



Rajan Arora

摘要

I2C 接口的上拉电阻计算是一个常见问题。本应用手册展示了如何使用简单的公式进行该计算。

内容

1 简介.....	2
2 上拉电阻计算.....	3
3 速度与功率之间的权衡.....	4
4 示例.....	5
5 修订历史记录.....	5

插图清单

图 1-1. 应用示例：展示系统中不同 IC 之间通过 I2C 通信，以及 I2C 总线上的上拉电阻.....	2
图 2-1. 最小上拉电阻 [R _p (min)] 与上拉基准电压 (V _{CC}) 间的关系.....	4
图 2-2. 最大上拉电阻 [R _p (max)] 与总线电容 (C _b) 间的关系.....	4

表格清单

表 2-1. I2C 规范中的参数.....	3
------------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

I2C 通信标准是当今电子系统中广泛使用的芯片间通信标准。它是一种漏极开路/集电极开路通信标准，这意味着可以连接具有不同电压电源轨的集成电路 (IC) 进行通信。需要将上拉电阻从 I2C 线路连接到电源以实现通信，如图 1-1 所示。当开漏接口未将线路拉低时，上拉电阻会将线路拉高。上拉电阻的阻值是 I2C 系统的一个重要设计考虑因素，因为错误的阻值会导致信号丢失。在本文中，我们展示了上拉电阻计算的简单公式，系统设计人员可以使用这些公式快速计算其设计。

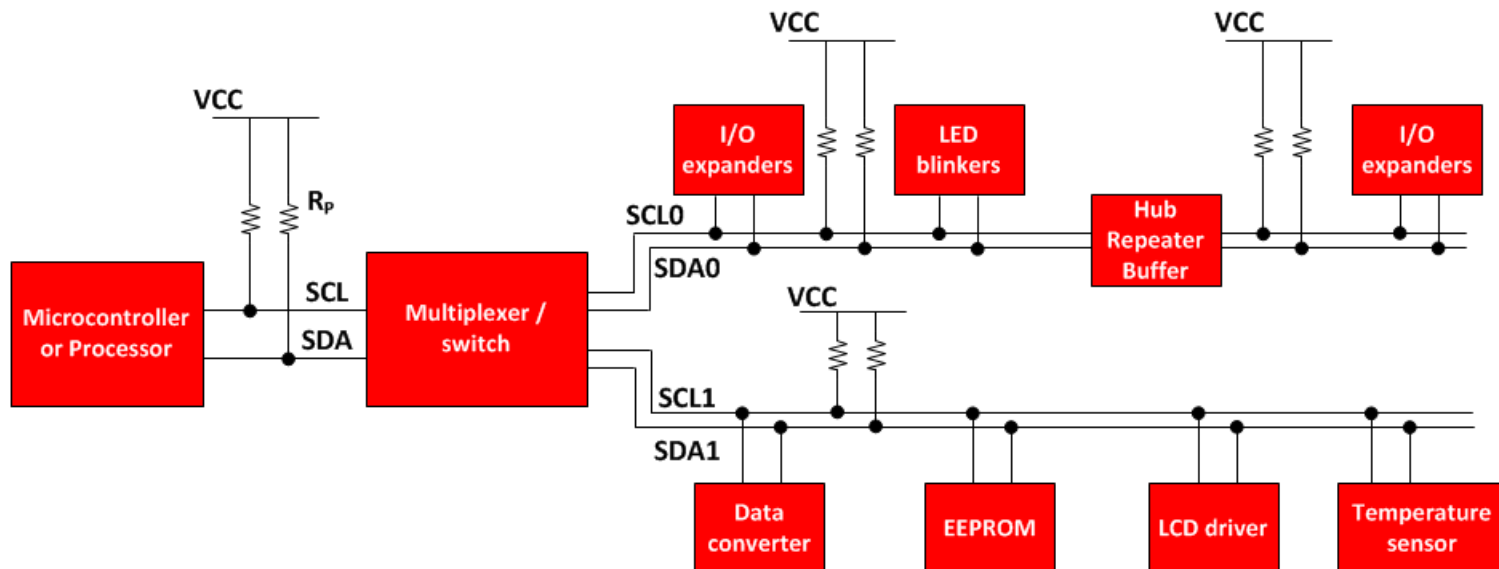


图 1-1. 应用示例：展示系统中不同 IC 之间通过 I2C 通信，以及 I2C 总线上的上拉电阻

2 上拉电阻计算

强上拉 (小电阻器) 可防止 IC 上的 I2C 引脚驱动为低电平。可以由 IC 的输入缓冲器读取为有效逻辑低电平的 V_{OL} 电平决定了最小上拉电阻 $[R_P(\min)]$ 。 $R_P(\min)$ 是 V_{CC} 、 $V_{OL}(\max)$ 和 I_{OL} 的函数：

$$R_P(\min) = \frac{(V_{CC} - V_{OL}(\max))}{I_{OL}} \quad (1)$$

由于 I2C 标准的上升时间规格，最大上拉电阻受总线电容 (C_b) 限制。如果上拉电阻值过大，I2C 线路可能在未被拉低之前无法上升到逻辑高电平。RC 电路从时间 $t = 0$ 开始对振幅为 V_{CC} 的电压阶跃的响应是由时间常数 RC 来表征。电压波形可表示为：

$$V(t) = V_{CC} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (2)$$

对于 $V_{IH} = 0.7 \times V_{CC}$ ：

$$V_{IH} = 0.7 \times V_{CC} = V_{CC} \times \left(1 - e^{-\frac{t_1}{R_P \times C_b}}\right) \quad (3)$$

对于 $V_{IL} = 0.3 \times V_{CC}$ ：

$$V_{IL} = 0.3 \times V_{CC} = V_{CC} \times \left(1 - e^{-\frac{t_2}{R_P \times C_b}}\right) \quad (4)$$

I2C 总线的上升时间可表示为：

$$t_r = t_2 - t_1 = 0.8473 \times R_P \times C_b \quad (5)$$

最大上拉电阻是最大上升时间 (t_r) 的函数：

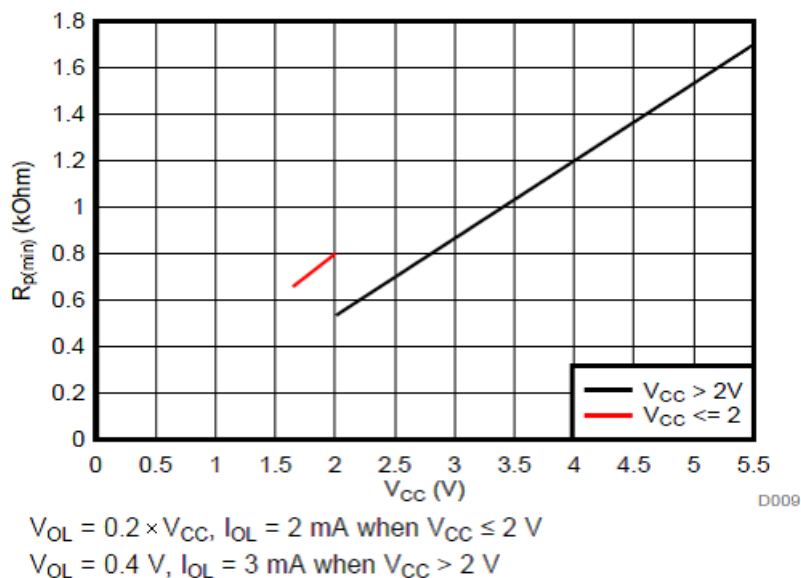
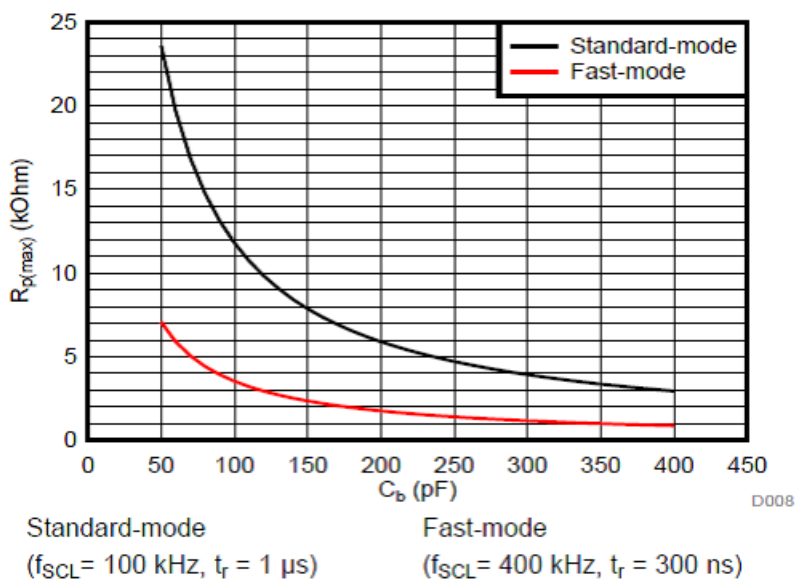
$$R_P(\max) = \frac{t_r}{(0.8473 \times C_b)} \quad (6)$$

表 2-1 中列出了 I2C 规范中的参数。

表 2-1. I2C 规范中的参数

参数		标准模式 (最大值)	快速模式 (最大值)	快速+ 模式 (最大值)	单位
t _r	SDA 和 SCL 信号的上升时间	1000	300	120	ns
C _b	每个总线的容性负载	400	400	550	pF
V _{OL}	低电平输出电压 (3mA 灌电流, V _{CC} > 2V)	0.4	0.4	0.4	V
	低电平输出电压 (2mA 灌电流, V _{CC} ≤ 2V)	–	0.2 × V _{CC}	0.2 × V _{CC}	V

$R_P(\min)$ 在图 2-1 中绘制为 V_{CC} 的函数。在标准模式和快速模式 I2C， $R_P(\max)$ 与 C_b 的函数关系图如图 2-2 所示。

图 2-1. 最小上拉电阻 [$R_p(\min)$] 与上拉基准电压 (V_{CC}) 间的关系图 2-2. 最大上拉电阻 [$R_p(\max)$] 与总线电容 (C_b) 间的关系

3 速度与功率之间的权衡

选择上拉电阻器的最小值和最大值后，可以根据速度和功率预算之间的权衡来决定电阻器的阻值。电阻越小，RC 延迟越小，速度越高；电阻越大，功耗越低。

4 示例

对于使用以下参数的快速模式 I2C 通信，请计算上拉电阻值。

$$C_b = 200\text{pF}, V_{CC} = 3.3\text{V}$$

解决方案：

从 表 2-1 取值：

$$R_{P(\max)} = \frac{t_r}{(0.8473 \times C_b)} = \frac{(300 \times 10^{-9})}{(0.8473 \times 200 \times 10^{-12})} = 1.77 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

$$R_{P(\min)} = \frac{V_{CC} - V_{OL(\max)}}{I_{OL}} = \frac{(3.3 - 0.4)}{(3 \times 10^{-3})} = 966.667 \Omega \quad (8)$$

因此，我们可以在 966.667 Ω 和 1.77k Ω 之间选择任何可用的电阻值。可以根据功耗和速度的权衡来选择上拉电阻器的值。

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (February 2015) to Revision A (October 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月