

Tyler Townsend

摘要

本文档演示了 TCAL 敏捷 I/O 扩展器的功能，并说明了使用 TCAL 版本相较于以前的 TCA 型号的优势。

内容

1 引言.....	2
2 可编程输出驱动强度.....	2
3 可编程上拉或下拉电阻.....	4
4 可锁存输入.....	5
5 可屏蔽中断.....	6
6 中断状态寄存器.....	7
7 可编程开漏和推挽输出.....	8
8 使用 TCAL I/O 扩展器相较于 TCA I/O 扩展器的优势.....	9
9 总结.....	10
10 参考文献.....	11

插图清单

图 2-1. 简化的输出级.....	3
图 3-1. 到 P 端口的上拉或下拉控制路径.....	4
图 4-1. 输入未锁存条件下的中断有效和中断丢失.....	5
图 4-2. 输入被锁存条件下的中断有效和保持.....	5
图 5-1. P04 上的输入变化不会将中断置为有效.....	6
图 5-2. P04 上的变化将中断置为有效.....	6
图 6-1. 读取中断状态寄存器时显示 P04 导致了中断.....	7
图 7-1. 开漏配置.....	8
图 7-2. 推挽配置.....	8

表格清单

表 2-1. 寄存器 40、41、42 和 43 (输出驱动强度寄存器).....	2
表 2-2. 用于调整 P 端口上输出驱动强度的两位组合.....	2
表 6-1. 寄存器 4C 和 4D (中断状态寄存器).....	7
表 7-1. 寄存器 4F (输出端口配置寄存器).....	8
表 8-1. TCAL I/O 扩展器器件列表.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

TCAL 系列 I2C I/O 扩展器在 p 端口引脚上提供了新的和改进的功能。可针对驱动强度、功耗、EMI 和软件相关标志调整敏捷 I/O。以下是敏捷 I/O 可以在 TCAL I/O 扩展器上提供的六个功能。

- 可编程输出驱动强度
- 可编程上拉或下拉电阻
- 可锁存输入
- 可屏蔽中断
- 中断状态寄存器
- 可编程开漏或推挽输出

本应用手册中提供的示例使用的是 TCAL6416 器件。

2 可编程输出驱动强度

敏捷 I/O 提供可编程输出驱动强度，允许将 I/O 焊盘配置为四个可能电流电平中的一个。通过对输出驱动强度寄存器中的位进行编程，用户可以调整驱动 I/O 焊盘的晶体管对的数量。表 2-1 来自 TCAL6416 数据表，介绍了寄存器 40、41、42 和 43（输出驱动强度寄存器）。

表 2-1. 寄存器 40、41、42 和 43（输出驱动强度寄存器）

位	CC-03	CC-03	CC-02	CC-02	CC-01	CC-01	CC-00	CC-00
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1
位	CC-07	CC-07	CC-06	CC-06	CC-05	CC-05	CC-04	CC-04
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1
位	CC-13	CC-13	CC-12	CC-12	CC-11	CC-11	CC-10	CC-10
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1
位	CC-17	CC-17	CC-16	CC-16	CC-15	CC-15	CC-14	CC-14
默认值	1	1	1	1	1	1	1	1

每个 P 端口都恰好分配了 2 位，以配置输出驱动器的驱动强度。例如，P07（端口 0 GPIO 7）输出由位于寄存器 41 中称为 CC-07 的两个位配置。两个可配置位提供了表 2-2 中定义的四个不同输出电流电平选项。输出引脚的默认驱动强度为 1.00x（CC = 11）。

表 2-2. 用于调整 P 端口上输出驱动强度的两位组合

CC - XX	输出强度
00	0.25x
01	0.5x
10	0.75x
11	1.00x

CC-XX 的可配置位决定了在给定时间为 I/O 焊盘供电的晶体管对的数量。图 2-1 显示了 PMOS/NMOS_EN 器件，用于控制 P00 - P07 和 P10 - P17 上输出的推挽驱动对。图 2-1 是 p 端口的简化输出级。

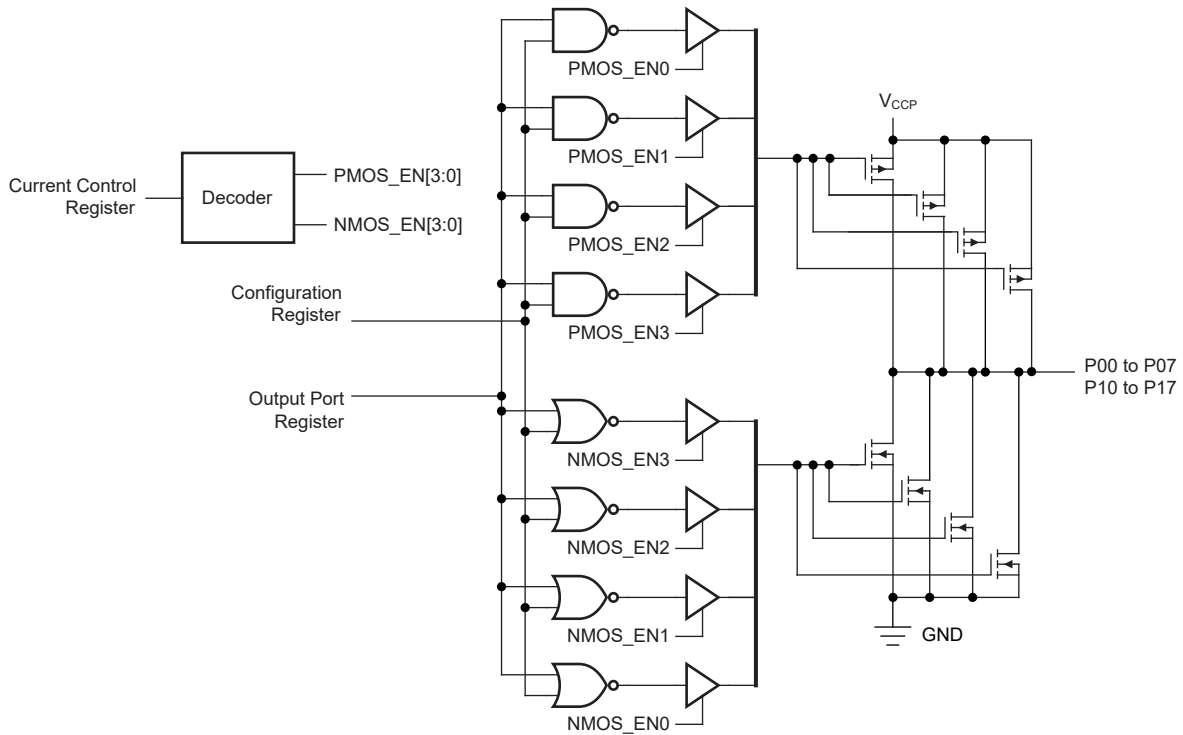


图 2-1. 简化的输出级

降低输出驱动强度有几个好处：

- 较弱的输出会降低压摆率，从而减少振铃效应。
- 不同的引脚可能具有不同的负载条件，有些引脚可能需要使用全驱动强度，而另一些引脚则需要较弱的驱动强度。因此，在某些引脚需要原始全驱动强度配置的情况下，可以单独配置每个引脚。
- 减少总体功耗。

3 可编程上拉或下拉电阻

敏捷 I/O 提供可通过寄存器寻址访问的可编程内部上拉或下拉电阻。用户可以在内部将弱上拉或下拉电阻 (大约 $100\text{k}\Omega$) 连接到 p 端口焊盘上。图 3-1 是一个功能图，显示了可编程上拉或下拉电阻的内部连接和控制块。当 p 端口配置为输出时，上拉或下拉电阻被禁用。

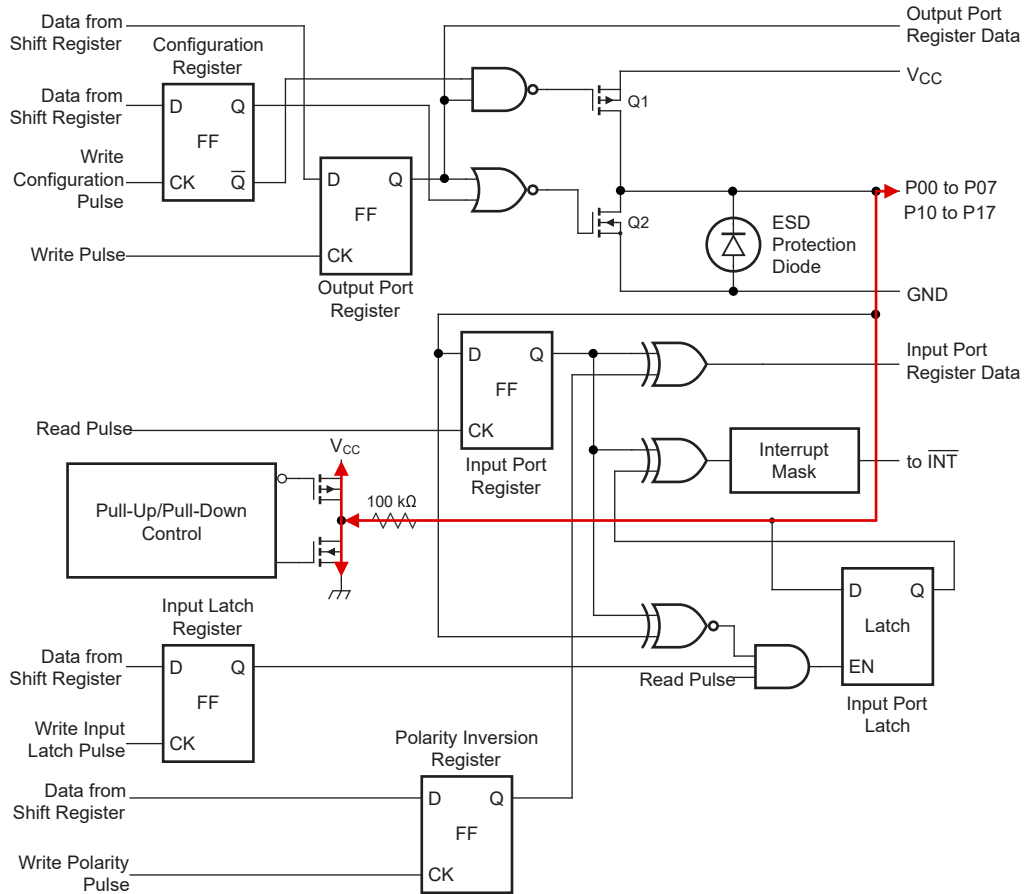


图 3-1. 到 P 端口的上拉或下拉控制路径

4 可锁存输入

当用户希望在输入转换回原始状态期间中断不会丢失，可使用可锁存输入。禁用可锁存输入后，相应输入引脚的状态变化会在 /INT 上生成中断，并将输入逻辑值存储到输入端口寄存器（寄存器 0 和 1）的相应位中。读取输入寄存器会清除中断标志。如果在读取输入端口寄存器之前输入返回到初始逻辑状态，则 /INT 上的中断标志会自行清除，这可能会导致问题，因为在输入状态发生变化之前不读取中断，中断可能会丢失。

可以在图 4-1 显示的示波器捕获中观察到这种行为。TCAL6416 上输入 P04 的逻辑状态从高电平驱动为低电平。经过一段时间后，输入被驱动回高电平。请注意，一旦 P04 恢复原始输入状态，低电平有效的中断就会恢复为高电平。在这种情况下，中断会丢失。

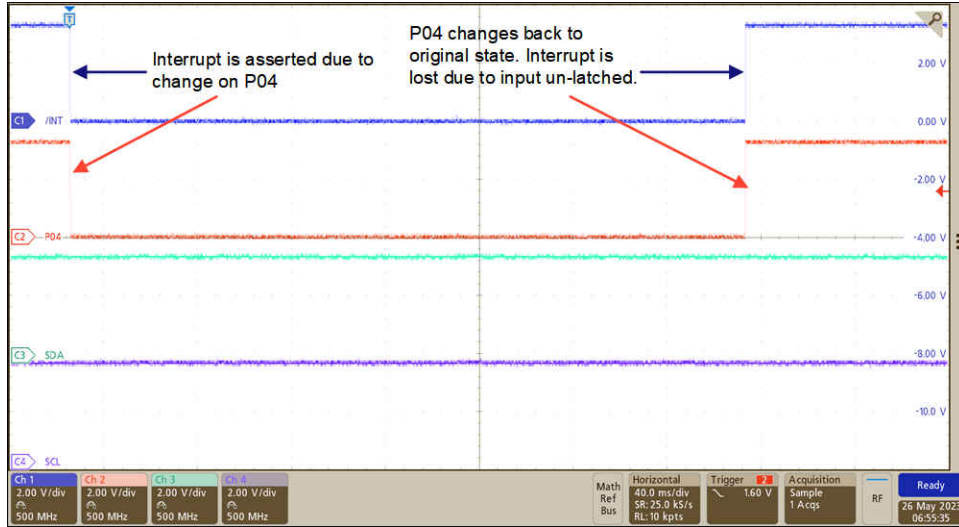


图 4-1. 输入未锁存条件下的中断有效和中断丢失

当启用可锁存输入时，这种情况会发生变化。输入状态的变化会产生一个中断，输入逻辑值被加载到输入端口寄存器（寄存器 0 和 1）的相应位中。读取输入端口寄存器会清除 /INT 上的中断标志。在这种情况下，如果在输入引脚返回到初始逻辑状态后读取输入端口寄存器，/INT 上的中断标志不会清除，并且输入端口寄存器的相应位会保持启动了中断的逻辑值。此过程会使输入引脚上的状态转换回原始状态时不导致任何触发的中断丢失。可以在图 4-2 显示的示波器捕获中观察到这种行为。

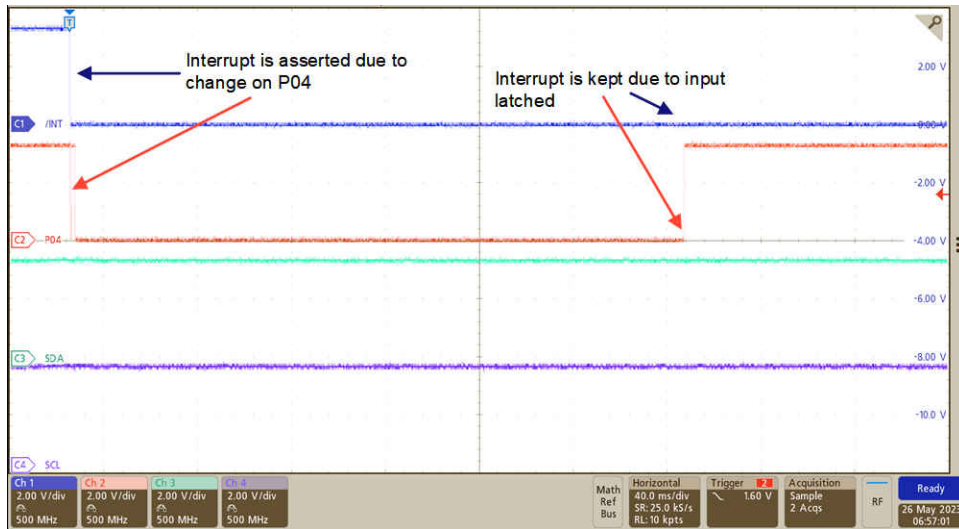


图 4-2. 输入被锁存条件下的中断有效和保持

这种行为是 TCA 器件和 TCAL 器件之间在敏捷 I/O 可锁存输入特性方面的关键区别。

5 可屏蔽中断

使用敏捷 I/O，用户可以通过启用或禁用中断屏蔽寄存器中的位来选择关闭或开启 I/O 扩展器的内置中断。当中断被屏蔽时，输入上的状态变化不会使中断引脚上的信号生效。如果中断未被屏蔽，输入引脚的状态变化会将中断置为有效。

例如，在中断被屏蔽后，从 0 变为 1 的输入不会将中断置为有效。

当中断未被屏蔽时，将输入从 0 更改为 1 会将中断置为有效。

可屏蔽中断在优先级切换中很有用。当一个任务比另一个任务更重要时，工程师可以选择屏蔽中断，将该 GPIO 的任务推到优先级列表中的较低位置。

图 5-1 显示了 P04 从高逻辑值变为低逻辑值的状态变化。这种状态变化不会将 /INT 上的中断置为有效，因为中断被屏蔽。

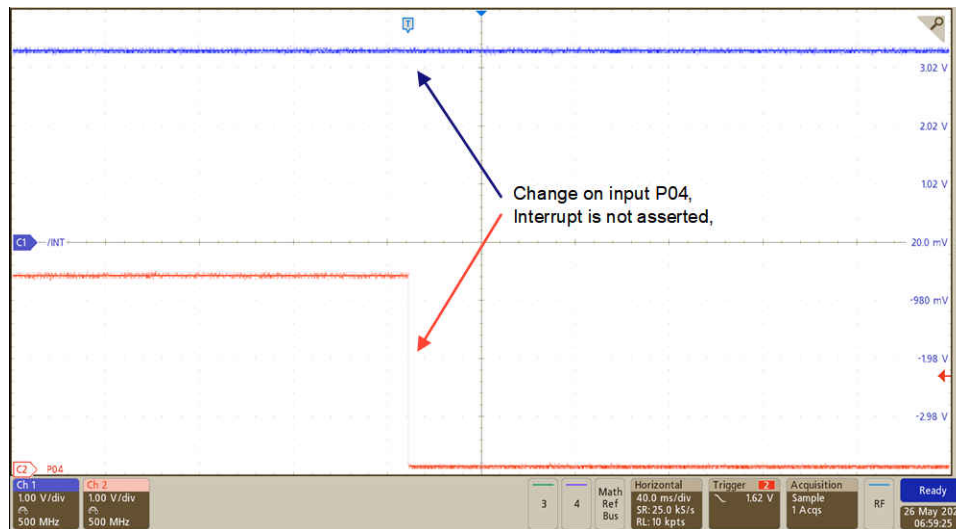


图 5-1. P04 上的输入变化不会将中断置为有效

在图 5-2 中的备用情况下，P04 上的中断未被屏蔽。在这种情况下，输入引脚上的相应变化应该会将 /INT 引脚置位。

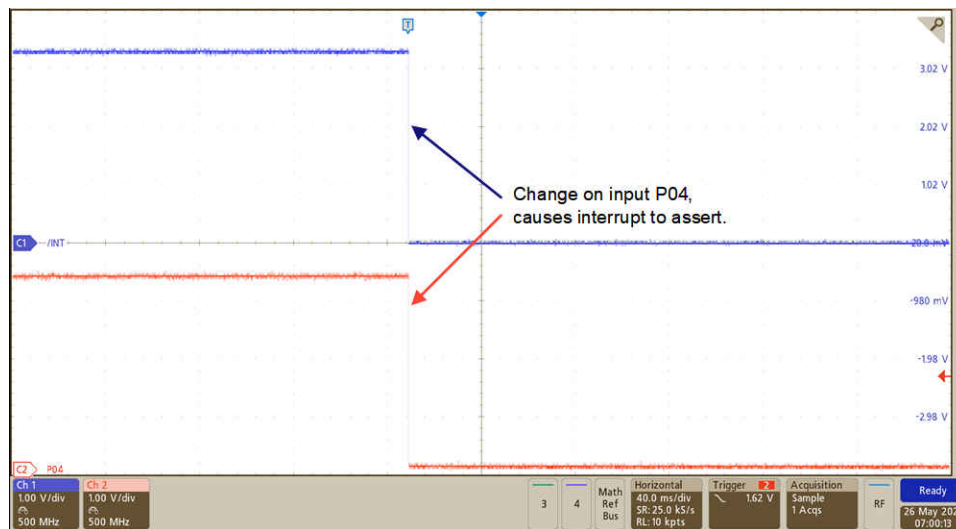


图 5-2. P04 上的变化将中断置为有效

6 中断状态寄存器

中断状态寄存器 (0x4C 和 0x4D) 是用于标识触发的中断源的只读寄存器。读取中断状态寄存器时, 逻辑 1 表示相应的输入引脚是中断源。逻辑 0 表示输入引脚不是中断源。

如果中断屏蔽寄存器 (0x4A 和 0x4B) 中的相应位设置为逻辑 1 (已屏蔽) , 中断状态位会返回逻辑 0。

对于以下示例, TCAL6416 p 端口 P04 设置为输入且逻辑状态从高电平变为低电平。在中断状态寄存器 (0x4C) 内部, 如果中断未被屏蔽, 则保存数据 b00010000 或 0x10。对于本示例, 表 6-1 中的位 S-04 = 1。位 S-04 等于 P04 p 端口, 逻辑 1 表示该端口由于引脚上的状态变化而设置中断。

表 6-1. 寄存器 4C 和 4D (中断状态寄存器)

位	S-07	S-06	S-05	S-04	S-03	S-02	S-01	S-00
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0
位	S-17	S-16	S-15	S-14	S-13	S-12	S-11	S-10
默认值	0	0	0	0	0	0	0	0

要检查端口 1 上的中断, 需要读取 TCAL6416 (或任何 TCAL I/O 扩展器) 内部的中断状态寄存器。首先, 需要使用器件地址 0x21 后跟一个写入位对 TCAL6416 进行写入。然后, 发送中断状态寄存器 0x4C 的地址。下一步是通过再次发送器件地址 0x21 后跟一个读取位来从 TCAL6416 读取数据。此时, 从中断状态寄存器 (0x4C) 读取的数据为 0x10, 这会正确识别触发了 P04 中断, 从而告诉我们 p 端口 P04 上发生了输入变化。图 6-1 显示了整个过程。

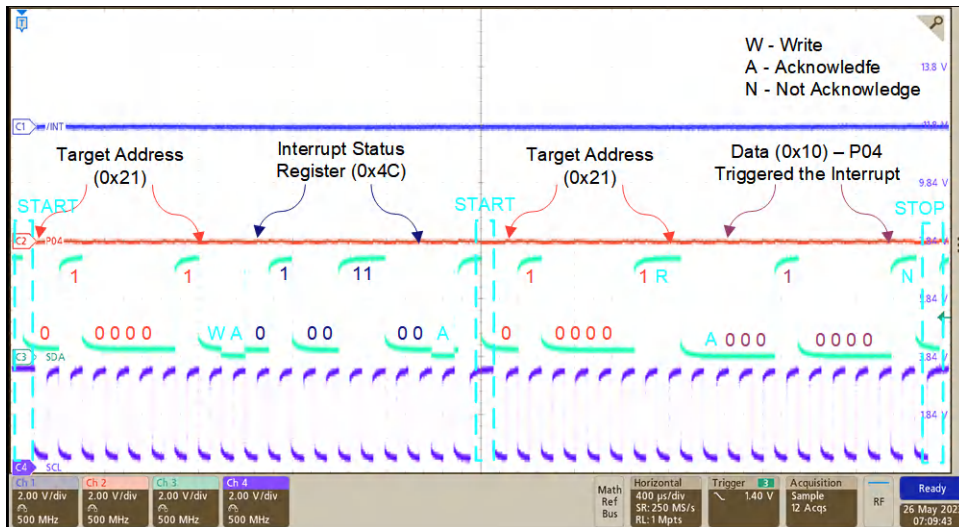


图 6-1. 读取中断状态寄存器时显示 P04 导致了中断

7 可编程开漏和推挽输出

TI 的 TCA 和 TCAL 系列器件允许将 GPIO 引脚配置为开漏或推挽输出。TCA 器件可以通过按特定顺序写入配置和输出端口寄存器来配置开漏 I/O。

TCAL 器件具有一个来自寄存器地址 0x4F 的内置输出端口配置寄存器。输出端口配置寄存器选择按端口推挽或开漏 I/O 级。逻辑 0 将 I/O 配置为推挽。逻辑 1 将 I/O 配置为开漏。ODEN0 配置端口 0x，ODEN1 配置端口 1x。[表 7-1](#) 中定义了这些信息。

表 7-1. 寄存器 4F (输出端口配置寄存器)

位	被保留						ODEN-1	ODEN-0
默认值	0	0	0	0	0	0	0	

使用推挽或开漏 GPIO 配置的影响可以通过[图 7-1](#) 和 [图 7-2](#) 中的示波器捕获观察到。

开漏配置需要在 p 端口引脚上使用上拉电阻器，因为 p 端口上内部 FET 的漏极处于悬空状态。由于 p 端口上的寄生电容和上拉电阻组合引起 RC 时间常数，因此该配置会导致上升沿变慢。

推挽配置与开漏不同，因为推挽配置不需要外部上拉电阻器。器件内部有两个驱动 FETS，一个连接到 VCC，另一个连接到推挽架构中的 GND。这种配置可实现极快的上升和下降时间以及陡峭的压摆率，但也会引入更大的过冲和下冲。

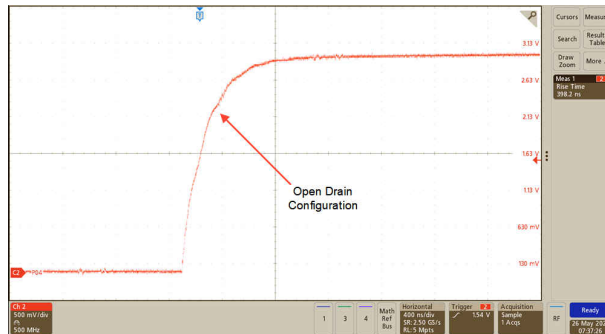


图 7-1. 开漏配置

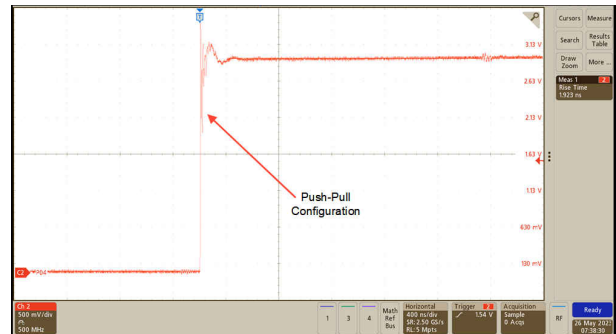


图 7-2. 推挽配置

8 使用 TCAL I/O 扩展器相较于 TCA I/O 扩展器的优势

TCAL I/O 扩展器是对 TCA I/O 扩展器的直接升级。TCAL 与同一器件型号的 TCA 引脚对引脚兼容。例如，TCAL6408 是 TCA6408 的直接升级版。以下是使用 TCAL I/O 扩展器相较于 TCA I/O 扩展器的一些优势。

- 为下一代处理器提供低电压支持 (1.08V - 3.6V)
- 减少了 BoM 和布板空间，从而降低了成本
- 较新的工艺技术，从而使设计更具成本优势
- 最高支持超快速模式数据速率 (1MHz)，从而提高数据吞吐量 (TCA - 额定值高达 400kHz)
- 降低电源关键系统的电流消耗
- 系统适应性，可实现轻松原型设计
- 修复了 TCA 电平转换 I/O 扩展器中存在的 VCCP/VCCI 电源时序控制问题
- 敏捷 I/O 特性：
 - 可编程输出驱动强度
 - 可锁存输入
 - 屏蔽中断和中断状态寄存器
 - 可编程输出配置
 - 可选输入上拉或下拉寄存器

表 8-1 显示了 TI 提供的当前可用的 TCAL I/O 扩展器。

表 8-1. TCAL I/O 扩展器器件列表

TCAL I/O 扩展器比较表					
	TCAL6408	TCAL6416	TCAL9538	TCAL9539	TCAL9539-Q1
GPIO 数量	8	16	8	16	16
引脚数	16	24	16	24	24
地址引脚数	1	1	2	2	2
是否具有 INT 和 RESET 引脚？	是	是	是	是	是
是否支持电平转换？	是	是	否	否	否
电源电压	1.08V 至 3.6V	1.08V 至 3.6V	1.08V 至 3.6V	1.08V 至 3.6V	1.08V 至 3.6V
数据速率	1MHz	1MHz	1MHz	1MHz	1MHz
待机电流	1.8V 典型值时小于 1uA	1.8V 典型值时小于 1uA	1.8V 典型值时小于 1uA	1.8V 典型值时小于 1uA	1.8V 典型值时小于 1uA
工作温度	-40°C 至 125°C	-40°C 至 125°C	-40°C 至 125°C	-40°C 至 125°C	-40°C 至 125°C
ESD 保护	+/-4kV HBM +/-1kV CDM	+/-4kV HBM +/-1kV CDM	+/-4kV HBM +/-1kV CDM	+/-4kV HBM +/-1kV CDM	+/-4kV HBM +/-1kV CDM
封装类型	UQFN、X2QFN	TSSOP、WQFN	UQFN、X2QFN	WQFN	WQFN

9 总结

TCAL 敏捷 I/O 扩展器在 GPIO 引脚上提供各种功能。这些功能包括：可编程输出驱动强度、集成上拉和下拉电阻、可锁存输入、可屏蔽中断、中断状态寄存器和可编程开漏或推挽输出选项。TCAL 器件还与以前 TCA 型号的 I/O 扩展器引脚对引脚兼容。TCAL 是 TCA 的直接升级版本，它提供敏捷 I/O 功能、低电源电压支持（1.08V 至 3.6V），同时还支持更快的数据速率 (<1MHz) 和更好的成本设计，这得益于较新的工艺技术。

10 参考文献

- 德州仪器 (TI), [TCAL6416 具有中断输出、复位和敏捷 I/O 配置寄存器的 16 位 I2C 总线, SMBus I/O 扩展器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [TCAL6408 具有中断输出、复位和敏捷 I/O 配置寄存器的 8 位转换 I2C 总线, SMBus I/O 扩展器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [TCAL9538 具有中断输出、复位和敏捷 I/O 配置寄存器的 8 位 I2C 总线, SMBus I/O 扩展器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [TCAL9539 具有中断输出、复位和配置寄存器的低电压 16 位 I2C 总线, SMBus I/O 扩展器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [TCAL9539-Q1 具有中断输出、复位和配置寄存器的汽车类低电压 16 位 I2C 总线, SMBus I/O 扩展器数据表](#)。

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司