

理解 TIC12400-Q1 的轮询模式操作与中断行为



Frank Qin

摘要

TIC12400-Q1 是一款专为 12V 汽车应用设计的 24 通道多开关检测接口。本应用报告讨论仅靠数据表未充分阐述的器件运行的两个方面：内部轮询周期架构（包括时序、顺序和寄存器更新行为）以及与误中断风险评估相关的 /INT 引脚泄漏电流特性。本文所述信息源自现场应用讨论和 TI 工程评估，旨在为 TIC12400-Q1 数据表提供补充。

内容

1 简介.....2

2 轮询模式运行.....3

 2.1 轮询周期架构.....3

 2.2 轮询时序参数.....3

 2.3 轮询周期内的寄存器更新行为.....3

 2.4 器件启动顺序与第一个轮询周期.....4

3 /INT 引脚泄漏电流与中断处理.....5

 3.1 /INT 引脚泄漏电流规格.....5

 3.2 中断产生与配置.....5

 3.3 启动中断行为与唤醒信号时序.....5

4 总结.....6

5 参考资料.....7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

TIC12400-Q1 提供了 24 个可配置的输入通道 (IN0 - IN23)。每个通道可独立分配用于数字开关检测 (比较器模式) 或模拟电压测量 (ADC 模式)。在任一模式下, 器件都按定期轮询周期运行: 将湿电流施加到所有使能的通道, 按顺序对每个通道进行采样, 将结果存储在片上状态寄存器中。主机微控制器通过 SPI 读取这些寄存器, 并可选择在检测到状态变化时在 /INT 引脚上接收中断。

该器件支持两种主要工作模式:

- 轮询模式: 器件在每个可配置的轮询间隔对所有使能的通道采样一次, 然后保持空闲, 直到下一个间隔开始。
- 连续模式: 器件连续采样所有使能的通道, 周期之间没有空闲期间。

本文将重点介绍轮询模式, 这是汽车车身电子应用中最常用的配置。

注意: 除非另有说明, 本文引用的所有时序值均适用于轮询模式运行。

2 轮询模式运行

2.1 轮询周期架构

每个轮询周期由三个按顺序执行的不同阶段组成：

阶段	名称	说明
1	湿电流激活	在轮询间隔开始时，对所有湿电流设置非零的通道同时使能湿电流。该电流在通过编程设定的轮询激活时间内持续作用。
2	顺序采样	在湿电流激活时间之后，内部多路复用器将每个使能的 INx 通道逐一连接到 ADC 或比较器。分别按 T _{adc} 或 T _{comp} 对每个通道进行采样，其结果寄存器立即更新。按从 IN0 到 IN23 的顺序对通道进行采样，跳过禁用的通道。
3	空闲	完成对所有使能通道的采样后，禁用湿电流，器件保持空闲，直到下一个轮询间隔开始。空闲阶段的持续时间等于通过编程设定的轮询周期减去阶段 1 和阶段 2 消耗的时间。

表 1.TIC12400-Q1 轮询周期阶段序列

该架构带来的一个重要结果是，湿电流在空闲阶段不会激活。由湿电流源驱动的外部负载获得的是脉冲激励，而不是直流激励。依赖湿电流进行传感器激励的系统级设计必须考虑该占空比。

2.2 轮询时序参数

表 2 总结了控制轮询周期的主要时序参数。

参数	符号	最小值	典型值	最大值
轮询周期 (可配置)	T _{POLL}	—	8ms (默认)	—
每个通道的 ADC 测量时间	T _{ADC}	—	18 μs	25 μs
每个通道的比较器测量时间	T _{COMP}	—	10 μs	18 μs
从 TRIGGER 位置位到第一个轮询周期开始的时间	T _{start}	200 μs	300 μs	400 μs

表 2.TIC12400-Q1 主要轮询时序参数

在默认轮询周期为 8ms 且最多 24 个通道配置为 ADC 测量 (T_{adc} = 18 μs 典型值) 的情况下，顺序采样阶段消耗的最长时间约为 24 × 18 μs = 432 μs。这意味着在默认设置下，器件在每个轮询间隔的大部分时间处于空闲阶段。

注意：轮询周期计时器的计数独立于已使能的通道数。使能更少通道会缩短采样阶段，但不会改变通过编程设定的轮询周期。

2.3 轮询周期内的寄存器更新行为

ADC_STATx 寄存器保存每个 INx 通道的最近一次采样值。理解这些寄存器何时更新对于 SPI 读取时序很重要。

说明如下：

- 每通道更新：每个 INx 通道的 ADC_STATx 寄存器在当前轮询周期内该通道被采样后立即更新，而不是在整个周期结束时更新。序列中较早被采样的通道将具有当前周期的值，而尚未被采样的通道仍保持上一周期的值。
- 原子寄存器读取：SPI 读取始终返回完整的、最近存储的寄存器值。无法读取部分更新的寄存器。如果读取发生在轮询周期中途，主机将收到不同通道的当前周期值与上一周期值的混合结果，具体取决于读取时哪些通道已被采样。
- 寄存器保持 (R 与 RC 类型)：访问类型为“R”的寄存器位在 SPI 读取后保持其值。访问类型为“RC” (读取清零) 的寄存器位在读取后立即复位为默认值。有关每个位的具体类型，请参阅 TIC12400-Q1 数据表寄存器映射。

注意：如果应用要求所有通道反映同一轮询周期，则 SPI 读取应安排在标志着完整轮询周期结束的 INT 置为有效之后、下一周期采样阶段开始之前进行。

2.4 器件启动顺序与第一个轮询周期

器件复位（硬件或软件）后，TIC12400-Q1 不会自主开始轮询。主机微控制器必须首先配置所有必需的寄存器，然后将 CONFIG 寄存器中的 TRIGGER 位设置为逻辑 1。器件将在 TRIGGER 位置位后 200-400 μ s 启动第一个轮询周期。

启动序列如下：

步骤	操作	备注
1	通电；等待器件 POR 完成	在继续之前，确认 VS 和 VDD 在规格范围内。
2	通过 SPI 配置所有通道和阈值寄存器	设置通道模式（ADC 或比较器模式）、湿电流电平、轮询周期和中断配置。
3	设置 CONFIG 寄存器中的 TRIGGER 位 = 1	这会激活湿电流并启动轮询周期计时器。
4	等待 T_start (200-400 μ s) 以使第一个轮询周期开始	在第一个完整轮询周期完成之前，没有有效的 ADC 或比较器数据可用。
5	等待 /INT 置为有效，以指示第一个完整周期结束	在第一个完整轮询周期结束时，/INT 引脚置为有效，以指示已采集基线开关状态。此后可从 ADC_STATx 和 SWITCH_STATx 寄存器读取有效数据。

表 3.TIC12400-Q1 器件启动序列

注意：TIC12400-Q1 中断基于状态变化，而不是边沿触发。在第一个轮询周期结束时建立的“状态”成为所有后续中断比较的基线。如果某个输入在第一个轮询周期完成之前已经跳变到其活动状态，则该活动状态将存储为基线，并且不会针对该跳变产生中断。

3 /INT 引脚泄漏电流与中断处理

3.1 /INT 引脚泄漏电流规格

/INT 引脚是低电平有效的漏极开路输出。它通常由连接到 VDD 的外部上拉电阻器保持高电平，并由 TIC12400-Q1 拉至低电平来将中断置为有效。

一个常见的应用顾虑是：当 /INT 引脚处于无效（高电平）状态时，该引脚上的泄漏电流是否会导致误触发。相关数据表参数是 /INT 输出泄漏电流，测试时将 /INT 上拉至 VDD：

参数	最小值	最大值	单位
/INT 输出泄漏电流（引脚上拉至 VDD）	-1	+1	μA

表 4./INT 引脚泄漏电流规格

$\pm 1\ \mu\text{A}$ 规格为 ATE 通过项。在实际中，/INT 引脚上的泄漏电流完全在该范围内，在正常工作条件下不是误中断触发的来源。该泄漏电流比 INx 引脚泄漏电流（最高 $\pm 110\ \mu\text{A}$ ）小三个数量级，不应与之混淆。

注意： $\pm 110\ \mu\text{A}$ 泄漏电流规格仅适用于 INx 输入引脚，不适用于 /INT 输出引脚。这两项规格相互独立，服务于不同的设计目的。

3.2 中断产生与配置

TIC12400-Q1 中断系统基于状态变化。当器件检测到一个或多个受监测通道的当前采样状态与先前存储的状态不同时，/INT 引脚就会置为有效。中断不直接由 INx 引脚上的信号边沿产生，而由两个连续轮询周期结果之间的差异产生。

主要行为特性：

- 可配置的极性：可按通道将中断配置为在低到高跳变、高到低跳变或任一跳变时触发。
- /INT 置为有效时序：在检测到符合条件的状态变化的轮询周期结束时，/INT 引脚置为有效。在主机对相关状态寄存器执行 SPI 读取后，该引脚置为无效（RC 类型位在读取时清零）。
- 第一个轮询周期行为：在 TRIGGER 位置位后的第一个完整轮询周期结束时，始终将 /INT 引脚置为有效。这是通过设计实现的：器件没有可比较的先前状态，因此第一个周期的结果被存储为基线，并发出中断以通知主机现在已有有效的基线数据。
- 无模拟边沿检测：INx 引脚上的信号上升时间和下降时间不会直接影响中断产生。重要的是通道被采样时的逻辑状态（高于还是低于比较器阈值）。只要信号在该通道采样窗口之前已稳定越过阈值，则缓慢跳变也会被正确检测。

3.3 启动中断行为与唤醒信号时序

当使用 TIC12400-Q1 检测可能在器件启动序列之前或期间已经发生的唤醒信号时，会出现一种特定的边界情况。由于第一个轮询周期建立了基线，任何在第一个轮询周期完成时已处于“活动”状态的 INx 引脚，都会将该活动状态存为基线值。对于被采集为初始状态的跳变，不会产生中断。

考虑这样一种情况：唤醒信号在上电与第一个轮询周期完成之间的时段将某个 INx 引脚驱动为高电平。TIC12400-Q1 会将高电平存储为该通道的基线。如果该信号随后被移除（变为低电平），器件将检测到高电平到低电平的跳变，并按预期将 /INT 置为有效。然而，从中断的角度看，最初从高电平到活动状态的跳变将被遗漏。

为了避免在延迟敏感型设计中遗漏唤醒信号，请考虑以下事项：

- 确保 MCU 在预期唤醒信号窗口之前配置并触发 TIC12400-Q1。从 TRIGGER 位置位到获得首个有效数据的启动时间为 $200\text{--}400\ \mu\text{s}$ 加上一个完整轮询周期（例如默认设置下为 8ms ）。因此，在默认设置下，从 TRIGGER 置位到产生首个有效中断的总时间通常小于 10ms 。
- 在第一次 /INT 置为有效后读取 SWITCH_STATx 寄存器，以确定所有通道的当前状态。如果某个通道在启动时已处于活动状态，应用软件应作出相应响应，而不是等待中断。
- 不要仅依赖中断驱动的处理来进行唤醒检测。器件初始化后的寄存器读取可提供通道状态的真实基准，应纳入启动例程。

4 总结

TIC12400-Q1 的轮询周期由三个顺序阶段组成：湿电流激活、每通道采样和空闲阶段。湿电流仅在第一阶段激活，在轮询间隔的其余时间关闭。轮询周期计时器的运行独立于已使能的通道数，因此减少活动通道数会延长空闲阶段，而不改变通过编程设定的周期。

每个 INx 通道的结果寄存器在该通道被采样后立即更新，而不是在整个周期结束时更新。因此，在周期中途执行 SPI 读取时，返回值会混合当前周期和上一周期的值，具体取决于读取发生在序列中的位置。指定为 RC 类型的寄存器位在读取时清零；指定为 R 类型的位保持其值。

复位后，除非主机置位 CONFIG 寄存器中的 TRIGGER 位，否则器件不会开始轮询。第一个轮询周期在该位置位后 200-400 μ s 开始。在第一个完整周期结束时，将 /INT 引脚置为有效，以指示已采集有效的基线状态。由于中断系统基于状态变化，任何在第一个周期完成时已处于活动状态的输入都会存储为基线，并且不会针对该初始跳变而产生中断。具有严格唤醒检测要求的应用应在第一次 /INT 置为有效后读取 SWITCH_STATx 寄存器，而不是仅依赖中断产生。

/INT 引脚泄漏电流的最大规定值为 $\pm 1 \mu$ A (经 ATE 验证，引脚上拉至 VDD)。这不会带来误中断触发的风险，也不应与 INx 引脚 $\pm 110 \mu$ A 的泄漏电流规格混淆；后者是仅适用于输入通道的独立参数。

5 参考资料

1. <https://www.ti.com/lit/gpn/tic12400-q1>

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