

Application Note

采用 TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 及 TXE8148-Q1 且适用于现代汽车 ECU 设计的可扩展 16-48 位 GPIO 扩展器



Sakshi Markhedkar

摘要

车身、区域、信息娱乐和驾驶辅助子系统汽车电子控制单元 (ECU) 推动了对灵活增加的通用输入/输出 (GPIO) 资源的需求，同时保持紧凑外形和可预测的系统行为。TXE 系列包括 TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 符合汽车标准的串行外设接口 (SPI) GPIO 扩展器，可为空间受限型 ECU 设计中的数字输入和输出扩展提供可扩展和确定性设计。TXE 系列减轻了主机 MCU 或 SoC 的低速数字控制和监控功能，从而减少 MCU 引脚的使用，简化系统集成，并支持分布式和区域车辆架构。

内容

1 基于 SPI 的 GPIO 扩展器简介.....	2
2 为什么选择 SPI GPIO 扩展器?.....	3
2.1 SPI GPIO 扩展器对比分立式方法.....	3
2.2 SPI GPIO 扩展器对比 I ² C GPIO 扩展器.....	5
3 采用 SPI GPIO 扩展器的应用示例.....	6
3.1 区域控制模块.....	6
3.2 信息娱乐系统及 ADAS 外设控制.....	7
3.3 汽车车身控制模块.....	8
3.4 音频及外设监控.....	9
4 总结.....	10
5 参考资料.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 基于 SPI 的 GPIO 扩展器简介

现代汽车 ECU 必须支持越来越多的数字输入和输出，同时满足对可靠性、延迟及可扩展性的严格要求。随着 I/O 要求的提高，基于直接 MCU GPIO 或分立式扩展逻辑的传统方法变得效率低下，这是因为元件数量较高，导致电路板空间使用效率低下以及软件复杂性增加。

基于 SPI 的 GPIO 扩展器通过在更高带宽的接口上集中 GPIO 管理，来提供结构化和确定性替代方案。TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 是符合 AEC-Q100 标准的 16 位、24 位和 48 位 GPIO 扩展器，用于四线 SPI 协议，支持高达 10MHz 和 1.65V 至 5.5V 的运行，同时启用可配置的数字输入和输出功能以及可编程开漏/推挽输出、集成上拉电阻器、干扰寄存器、安全上拉/下拉电阻器、干扰模式总线保持功能可简化系统设计。

典型汽车应用包括：

- 车身控制模块
- 区域控制器
- 信息娱乐系统或驾驶员辅助外设控制

2 为什么选择 SPI GPIO 扩展器？

传统的 GPIO 扩展方法通常依赖于高引脚数 MCU、分立式移位寄存器、多路复用器或者基于锁存的逻辑来增加可用的 I/O。这些设计虽然有效，但会增加 PCB 面积、布线复杂性、胶合逻辑和固件开销，并且通常依赖于连续轮询来检测输入变化，这会增加延迟和功耗。基于 I²C 的 GPIO 扩展器通过将多个 GPIO 集成在简单的两线制接口后面来改进这种方法，减少引脚数和电路板复杂性，同时启用基于寄存器的控制和中断驱动监控等功能，从而提高效率。但是，I²C 带宽和总线共享可能会限制较高速或延迟敏感型系统中的性能。

现代 SPI GPIO 扩展器通过提供更高的吞吐量、更低的延迟通信和更确定性的时序以及集成中断和可扩展器件架构来解决这些限制。最终形成了一个紧凑、低 BOM 和软件高效的设计，可为当今的分布式汽车应用提供更快的响应、简化的设计和可靠的 GPIO 扩展。

2.1 SPI GPIO 扩展器对比分立式方法

使用移位寄存器、多路复用器或者分立式逻辑的 GPIO 扩展技术会由于元件数量增加和 PCB 布线复杂而引入限制。这些基于分立式的 GPIO 设计会导致汽车应用（例如区域控制模块）的系统成本更高且 PCB 利用率低下，而这些应用通常面临高通道密度和有限的布板空间这两个挑战。表 2-1 总结了 SPI GPIO 扩展器与分立式方法在成本优化型可扩展 ECU 设计中支持的系统级优势。

TXE81xx-Q1 支持基于中断的处理，在该情况下当任何输入状态与最后读取的状态不同时，开漏中断 (INT) 输出会被激活，并用于向系统控制器指示输入状态已更改。对于每个器件 I/O，可以锁存或屏蔽器件中断。通过发送中断信号，该器件可通知处理器在远程 I/O 端口上是否存在输入数据，而无需通过 SPI 总线进行通信。该器件还具有一个智能中断，如果 I/O 状态返回到初始逻辑状态或中断读取中断标志状态寄存器，则中断将清除。这样就可以轻松监测外设器件，例如外部开关、中断、就绪信号。

如图 2-1 中所述，TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 实现了紧凑、低 BOM IO 管理解决方案，同时最大限度地减少了布线拥塞并简化了多层 PCB 堆叠。

表 2-1. SPI GPIO 扩展器对比分立式方法

参数	移位寄存器/多路复用器/分立式逻辑	SPI GPIO 扩展器 (TXE8116-Q1 / TXE8124-Q1 / TXE8148-Q1)
MCU GPIO 使用情况	高 (添加了时钟、数据、锁存、使能信号)	✓ 低 (标准 4 引脚 SPI 接口)
可扩展性	有限；增加路由工作量	✓ 高；在不更改 MCU 引脚的情况下添加 GPIO
延迟和确定性	取决于软件；状态轮询	✓ 基于中断，事件驱动
功耗	高，源于状态扫描的 I/O 轮询	✓ 较低；I/O 状态更改反映在中断上
诊断和控制	有限；需要离散处理	✓ 集成配置和状态寄存器

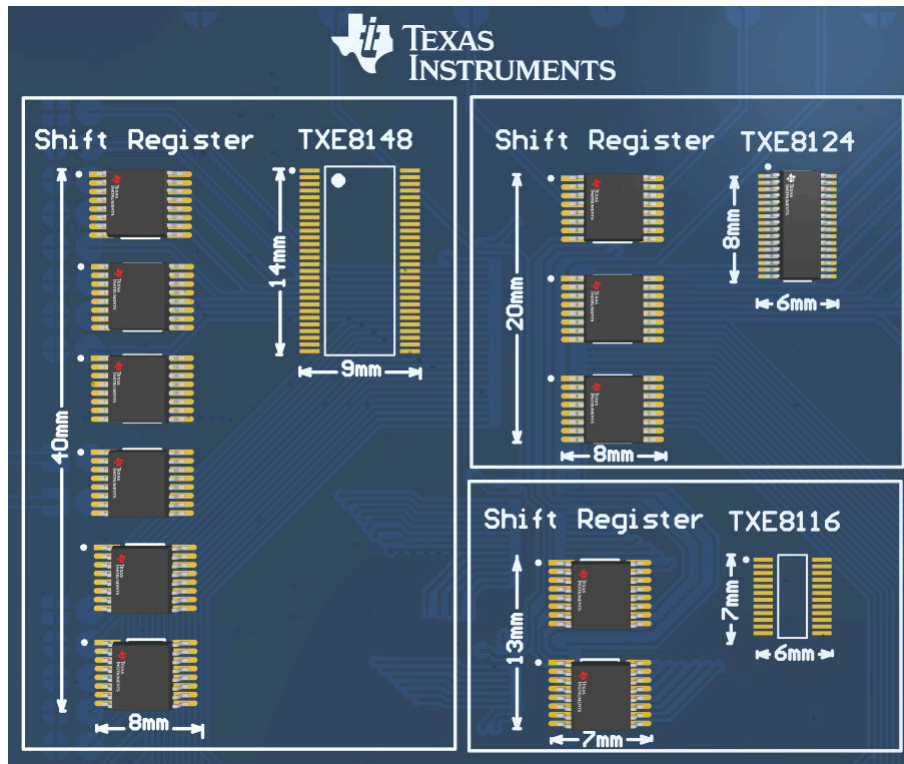


图 2-1. PCB 空间节省 : SPI GPIO 扩展器对比分立式方法

2.2 SPI GPIO 扩展器对比 I²C GPIO 扩展器

SPI 和 I²C GPIO 扩展器均在 I²C 设计中广泛使用。选择合适的接口取决于系统架构及性能要求。

基于 I²C 的 GPIO 扩展器使用简单的两线制接口，减少引脚数和电路板复杂性，同时启用基于寄存器的控制和中断驱动监控等功能，从而提高效率。但是，I²C 带宽和总线共享可能会限制较高速或延迟敏感型系统中的性能。通过用 SPI GPIO 扩展器替换基于 I²C 的解决方案，设计人员可以实现系统级的鲁棒性，并降低总线功耗，这有助于更好地与区域和软件定义的车辆架构保持一致。

表 2-2. SPI GPIO 扩展器对比 I²C GPIO 扩展器

参数	I ² C GPIO 扩展器 (TCA9539A-Q1 / TCA9536-Q1 / TCAL9539-Q1)	SPI GPIO 扩展器 (TXE8116-Q1 / TXE8124-Q1 / TXE8148-Q1)
位数	4 至 16	16 至 48
接口带宽	400kHz (标准) 至 1MHz (快速模式增强版)	高达 10MHz 的 SPI
可扩展性	基于 I ² C 地址	菊花链
功耗	低至中等	低待机 (6μA)
系统噪声	由于开漏 I ² C 总线配置，易受串扰影响	由于推挽 SPI 总线而具有弹性
输入干扰滤波器	否	是
失效防护特性	否	是
用例适配	低速控制及监测	区域、BCM、延迟敏感型控制

3 采用 SPI GPIO 扩展器的应用示例

TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 等 SPI GPIO 扩展器支持在各种汽车 ECU 设计中使用，从而减轻主机 MCU 或 SoC 的低速数字控制和监控功能负载。

3.1 区域控制模块

在区域控制模块 (ZCM) 架构中，整合了多个函数，从而显著提高了本地 GPIO 要求。SPI GPIO 扩展器可在不增加 MCU 引脚数的情况下实现可扩展及模块化的 I/O 扩展。如图 3-1 所示，TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 SPI IO 扩展器的菊花链功能允许在单个 SPI 总线上连接多个器件，从而随着区域架构的发展支持灵活的 GPIO 扩展。这种方法降低了布线复杂性，并支持在多种车辆型号之间重复使用平台。

TXE81xx-Q1 可轻松地与 TI 的 SoC (TIDA-020094 : 48V 区域参考设计) 以及区域控制模块的其他热门供应商产品集成。

重要设计注意事项

- 使用 TXE81xx-Q1 所支持的 SPI 菊花链功能规划 GPIO 可扩展性。
- 使用 TXE81xx-Q1 智能中断功能监测外设中断信号状态变化。
- 将扩展器靠近 I/O 负载放置以便降低布线复杂性。
- 平衡 SPI 总线负载以便保持时序裕度。
- 将 GPIO 分区与区域诊断及安全概念保持一致。

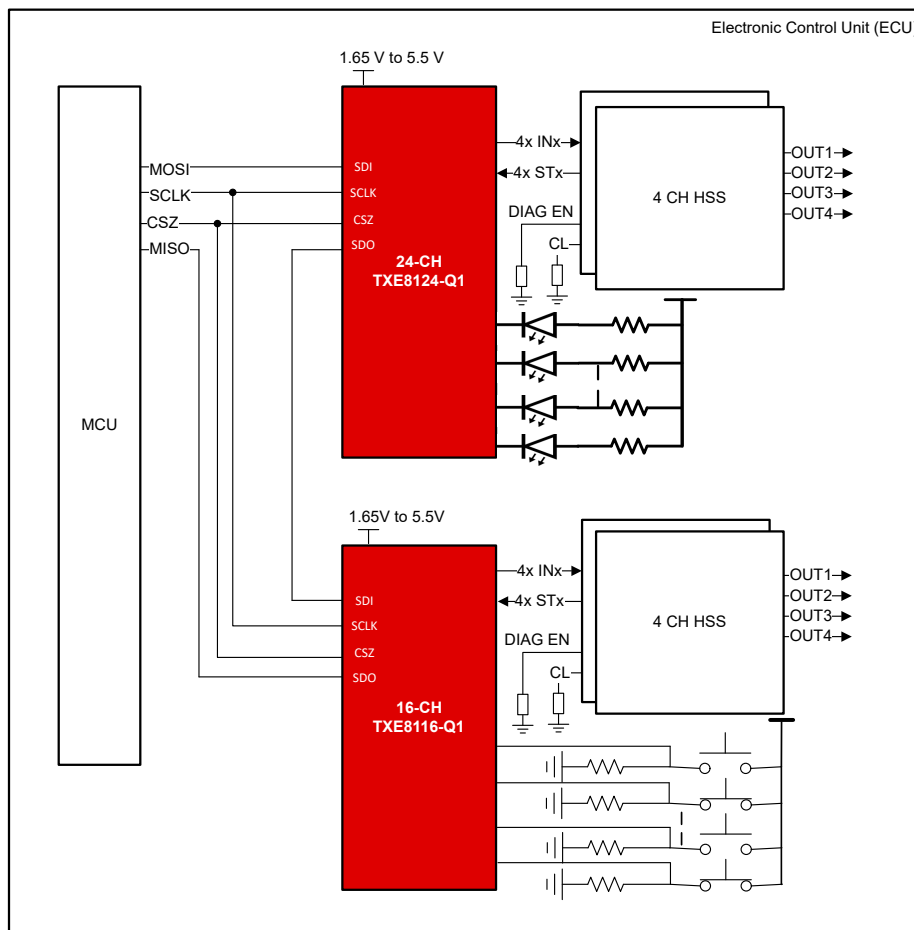


图 3-1. 为区域控制器使用 TXE8116-Q1 及 TXE8124-Q1 的 GPIO 扩展方框图

3.2 信息娱乐系统及 ADAS 外设控制

在现代信息娱乐和 ADAS 应用 (如 音响主机和数字驾驶舱处理, ADAS 和信息娱乐融合控制器、汽车显示 和高性能计算) 中, ECU 集成了需要低速使能、复位、模式选择和状态监控信号的众多外设。如图 3-2 所示, 这些信号优先用于 SPI GPIO 扩展。

重要设计注意事项

- 主要将 SPI GPIO 用于非数据路径控制信号。
- 维持确定性启动及时序控制要求。
- 将 GPIO 布线同 CSI、FPD-Link 或 LVDS 等高速接口隔离。
- 考虑跨外设的电源域时序。

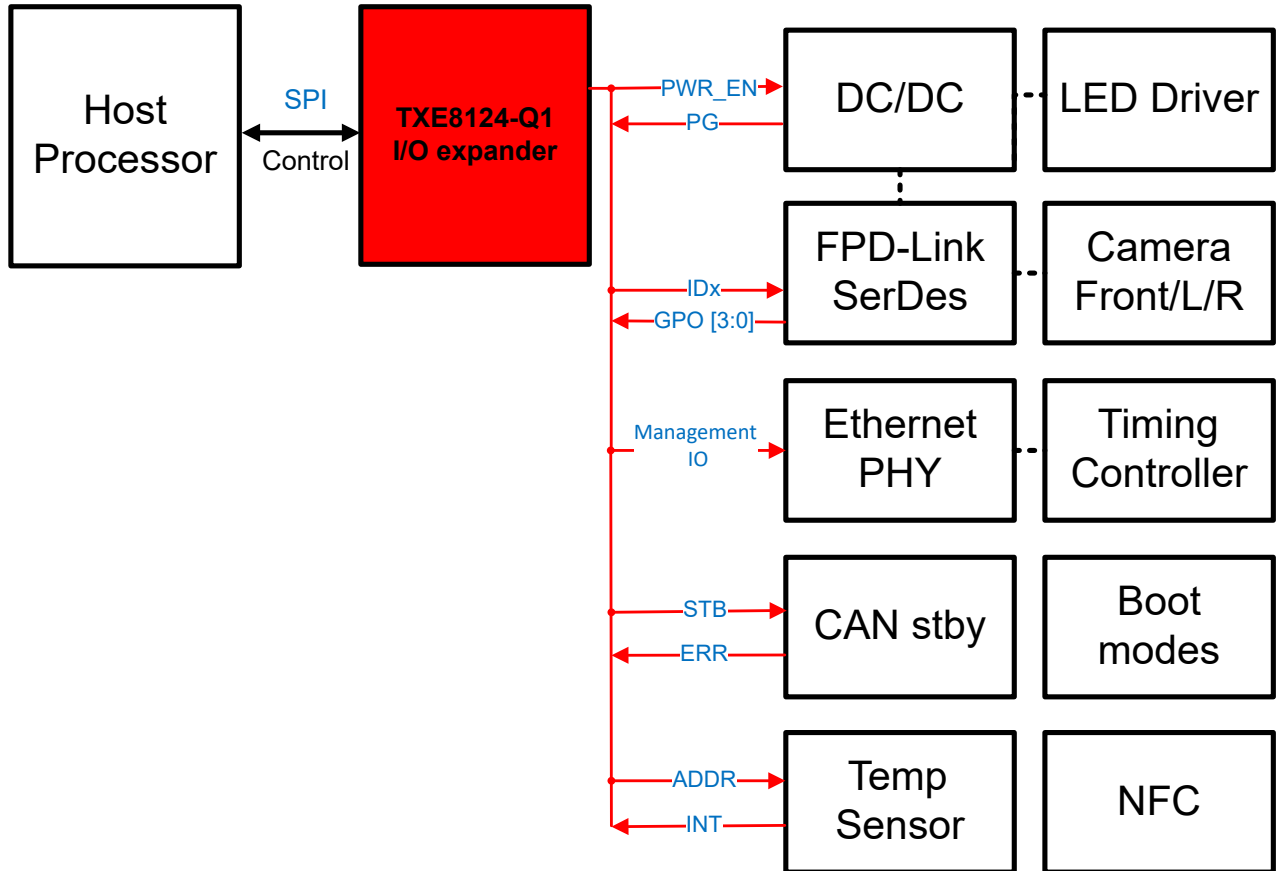


图 3-2. 用于信息娱乐系统及驾驶辅助的 GPIO 扩展方框图

3.3 汽车车身控制模块

在 *车身控制模块 (BCM)* 中，GPIO 可用性通常受到外部和内部照明控制、开关监控、继电器和执行器使以及诊断等功能内容增加的限制。如图 3-3 所示，TXE8124-Q1 SPI GPIO 扩展器提供可扩展的 I/O 扩展，同时保持确定性控制行为。

重要设计注意事项

- 验证继电器、LED 和外部驱动器的 GPIO 驱动强度及负载兼容性。
- 定义 MCU 和 GPIO 扩展器之间的上电及复位时序。
- 诊断及故障处理的账户。

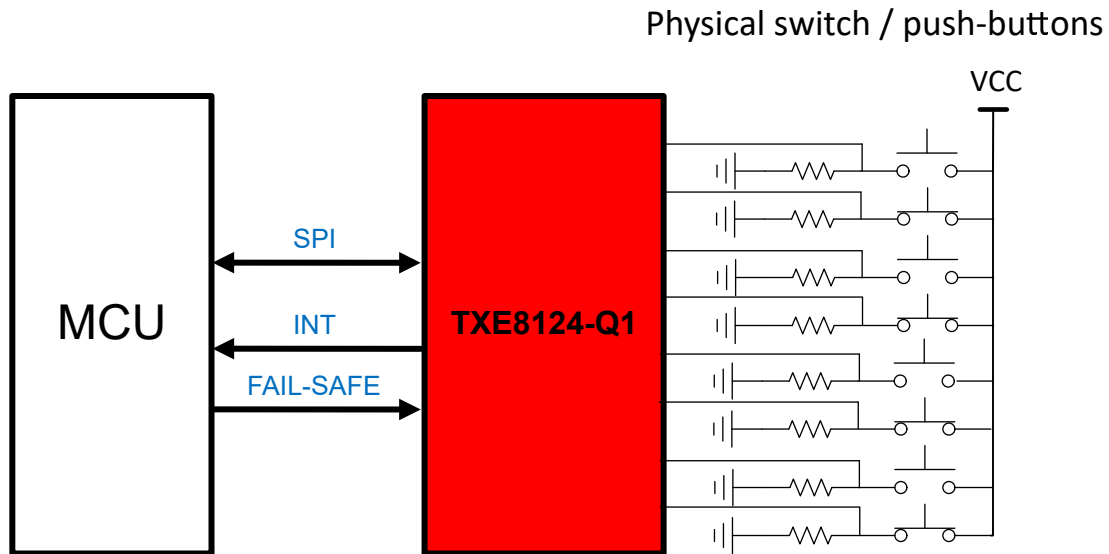


图 3-3. 汽车车身控制模块的 GPIO 扩展方框图

3.4 音频及外设监控

在汽车音频放大器系统中，需要使用 GPIO 来实现编解码器、放大器和 DSP 的使能、静音、故障监控及模式选择。如图 3-4 所示，这些功能受益于基于 SPI 的确定性且可靠的 GPIO 控制。

重要设计注意事项

- 将低速 GPIO 控制同高速音频数据路径分开。
- 验证静音和启用时序是否能满足音频子系统要求。
- 在上电期间验证 GPIO 默认状态。
- 将 GPIO 控制同音频电源时序相协调。

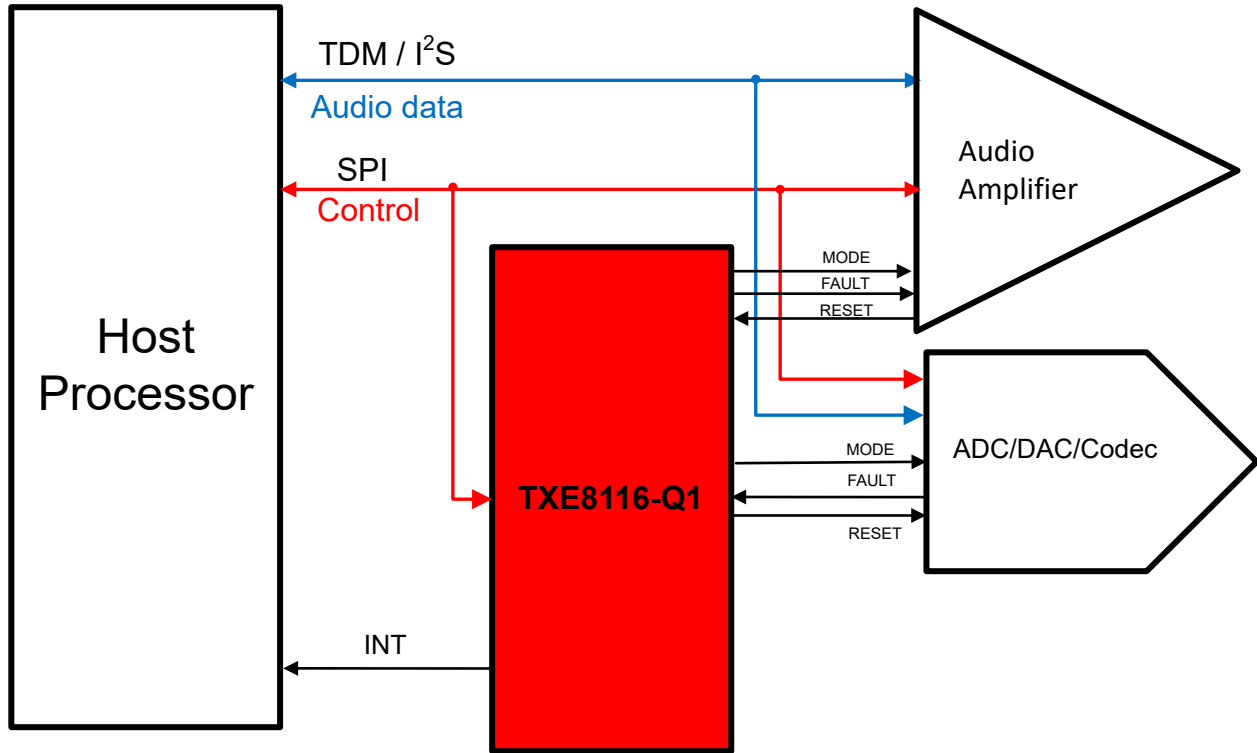


图 3-4. 用于汽车音频及外设监控的 GPIO 扩展方框图

4 总结

现代汽车 ECU 需要可扩展的确定性 GPIO 扩展，以满足车身、区域、信息娱乐和 ADAS 系统日益增长的数字控制和监控需求。基于高引脚数 MCU 或分立式逻辑的传统方法会增加电路板复杂性、布线拥塞和软件开销，而在延迟敏感型应用中，基于 I²C 的扩展器可能会受到带宽和总线负载的限制。TXE8116-Q1、TXE8124-Q1 和 TXE8148-Q1 汽车 SPI GPIO 扩展器为 16 位至 48 位 GPIO 扩展提供紧凑的高性能设计。通过高达 10MHz 的高速 SPI 接口，这些器件可实现低延迟、确定性通信以及中断驱动操作，同时集成了可编程 I/O 配置、干扰滤波和失效防护功能等关键特性，从而简化系统设计并提高稳健性。TXE 系列支持 SPI 菊花链和灵活的配置，可在不增加 MCU 引脚数的情况下实现可扩展和模块化 I/O 扩展，从而支持在不断发展的区域和软件定义车辆架构中重复使用平台。

通过从主机处理器卸载低速控制和监控功能，这些器件有助于降低系统成本，更大限度地降低设计复杂性并提高各种汽车应用的总体 ECU 效率。总体而言，TXE81xx-Q1 系列提供了一种可扩展、低 BOM 和软件高效的 GPIO 扩展解决方案，可为下一代汽车系统实现可靠、高密度的 I/O 集成。

5 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[具有中断输出、复位输入和 I/O 配置寄存器的 TXE81XX-Q1 汽车级 16 位和 24 位 SPI 总线 I/O 扩展器](#)，数据表。
2. 德州仪器 (TI)，[使用 TXE81xx-Q1 GPIO 扩展器实现 SPI 菊花链连接](#)，应用手册。
3. 德州仪器 (TI)，[48V 区域参考设计](#)，参考设计。
4. 德州仪器 (TI)，[了解 SPI 总线](#)，应用简报。

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