

Application Note

TXE 系列 16/24/48 位 SPI 控制型 I/O 扩展器失效防护应用

Tyler Townsend

摘要

本应用手册介绍了两个 MCU 失效防护用例，它们利用了 TXE 系列汽车级 I/O 扩展器的失效防护 I/O 寄存器组。示例用例涵盖从 MCU 重启（固件更新）期间保持可靠状态，到 MCU 失效时让系统保持在已知状态。

TXE 系列 I/O 扩展器包括 [TXE8116-Q1](#)、[TXE8124-Q1](#) 和 [TXE8148-Q1](#)。

内容

1 简介.....	2
2 失效防护寄存器组概述.....	3
3 如何写入失效防护寄存器.....	4
4 失效防护用例 #1 - MCU 通信丢失 - 跛行回家模式.....	5
5 失效防护用例 #2 - MCU 软件更新/重启.....	8
6 总结.....	9
7 参考资料.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

2 失效防护寄存器组概述

TXE81xx-Q1 系列 I/O 扩展器实现了失效防护寄存器。来自外部器件的故障标志可中继至 TXE81xx-Q1，以将 I/O 扩展器置于已知状态。

失效防护功能通过 4 个寄存器进行配置，每个寄存器都有一个冗余副本。这包括：

1. 失效防护使能寄存器
2. 失效防护方向配置寄存器
3. 失效防护输出寄存器
4. 失效防护冗余校验寄存器

在四种类型中，每种都有两个相同的寄存器 (1 和 2)。例如，存在“失效防护输出寄存器 1”和“失效防护输出寄存器 2”。这是为了验证失效防护寄存器之间的软件冗余。如果寄存器 1 包含与寄存器 2 不同的数据，则会置位故障状态寄存器的位 B1，提醒用户发生了数据写入错误。

故障状态寄存器用于判断是否存在寄存器不匹配，不匹配表明某个失效防护寄存器失去同步。故障状态寄存器还会指示器件故障状态何时处于活动状态，或何时发生了上电复位。即使故障情况消失，这些标志也不会清除，而只能通过读取操作来清除。

表 2-1. 失效防护寄存器映射和故障状态寄存器

寄存器名称	偏移	功能
失效防护使能寄存器 -1	120h	将 RESET 引脚配置为 FAIL-SAFE 引脚。
失效防护使能寄存器 -2	130h	将 RESET 引脚配置为 FAIL-SAFE 引脚。
失效防护方向配置寄存器-1	140h + (y * 1h) 其中 y = 0h 至 2h	配置每个 I/O 的方向 输入 = 0 输出 = 1
失效防护方向配置寄存器-2	150h + (y * 1h) ; 其中 y = 0h 至 2h	配置每个 I/O 的方向 输入 = 0 输出 = 1
失效防护输出寄存器-1	160h + (y * 1h) 其中 y = 0h 至 2h	配置通过失效防护方向配置寄存器设置为输出的每个 I/O 的逻辑输出
失效防护输出寄存器-2	170h + (y * 1h) ; 其中 y = 0h 至 2h	配置通过失效防护方向配置寄存器设置为输出的每个 I/O 的逻辑输出
失效防护冗余校验寄存器	180h	写入所有失效防护寄存器 (使能、配置、输出) 后，使能这些寄存器的冗余校验。如果失效防护寄存器不匹配，将在故障状态寄存器中置位一个标志。
故障状态寄存器	190h	位 0 - 上电复位恢复状态 位 1 - 因寄存器不匹配导致失效防护功能被清除 位 2 - 失效防护功能激活

3 如何写入失效防护寄存器

TXE81xx-Q1 使用 24 位 SPI 字对器件进行编程。

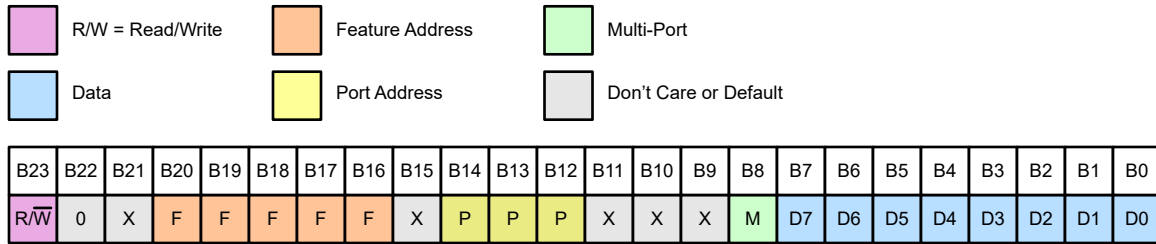


图 3-1. TXE81xx-Q1 的 24 位 SPI 字

其中：

- R/W = 读/写
- X = 不用考虑/默认值
- F = 功能地址
- P = 端口地址
- M = 多端口位
- D = 数据 (MSB 至 LSB)

例如，通过端口 2 写入失效防护输出寄存器 2 (0x17)，其中 P2.7 - P2.4 = 高电平，P2.3 - P2.0 = 低电平，禁用多端口。

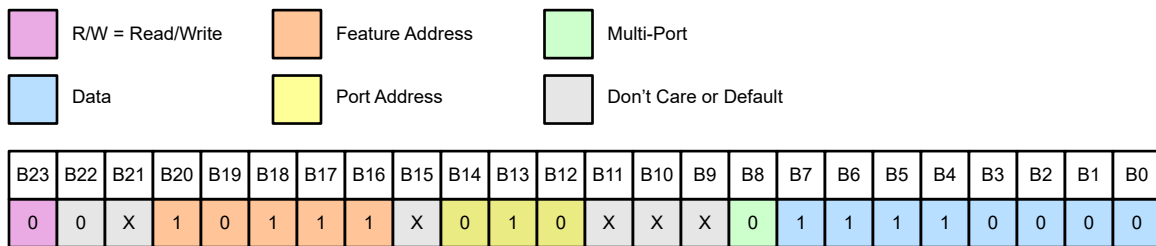


图 3-2. 示例写入条件 (B23 = 0)：写入失效防护输出寄存器 2 (B20-B16 = 0b10111)、端口 2 (B14-B12 = 0b010)、禁用多端口 (B8 = 0)、将 P2.7-P2.4 设置为高电平 (B7-B4 = 0b1111)、将 P2.3-P2.0 设置为低电平 (B3-B0 = 0b0000)

4 失效防护用例 #1 - MCU 通信丢失 - 跛行回家模式

在系统运行期间，MCU 可能会丢失通信。此时可使用 TXE81xx-Q1 I/O 扩展器，让车辆保持“跛行回家模式”状态。TXE81xx-Q1 可介入并保持车辆的关键状态，使其能够在降级功能状态（即跛行回家模式）下安全运行。

在此示例中，使用了以下代码块来设置 TXE8124-Q1 的正常运行状态。每个端口均设置为输出，每个端口的输出逻辑如下所示。这是 I/O 扩展器未处于失效防护状态时的状态。

端口 0 = 0x00

端口 1 = 0x55

端口 2 = 0x0F

```
//Configure IO's to OUTPUT on each port through the direction configuration register (0x04)
SPI_TRANSFER(0x04, Port_0, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x04, Port_1, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x04, Port_2, 0xFF);

//Set Output logic: Port_0 = 0x00, Port_1 = 0x55, Port_2 = 0x0F, through the output port register (0x03)
SPI_TRANSFER(0x03, Port_0, 0x00);
SPI_TRANSFER(0x03, Port_1, 0x55);
SPI_TRANSFER(0x03, Port_2, 0x0F);
```

接下来，将以下示例代码写入 TXE8124-Q1，以对失效防护寄存器进行编程。首先，向位于偏移地址 120h 和 130h 处的失效防护使能寄存器 1 和 2 执行写操作。然后，对位于偏移地址 140h + (y * 1h) 和 150h + (y * 1h) 的失效防护方向配置寄存器 1 和 2 进行编程。在此示例中，所有 I/O 均编程为输出。通过向位于偏移地址 160h + (y * 1h) 和 170h + (y * 1h) 的失效防护输出寄存器 1 和 2 执行写操作，对输出逻辑进行编程。此编码用例中以 0xAA 为例。随后，将位于偏移地址 180h 的失效防护冗余校验寄存器中的 FSCHECKEN 位置位。

```
//Configure the fail-safe registers

//Fail-safe enable register 1 (0x12), Fail-safe enable register 2 (0x13), set B0 = 1
SPI_TRANSFER(0x12, Port_0, 0x01);
SPI_TRANSFER(0x13, Port_0, 0x01);

//Fail-safe Direction Configuration Register 1 (0x14), set each port IO's to OUTPUT (0xFF)
SPI_TRANSFER(0x14, Port_0, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x14, Port_1, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x14, Port_2, 0xFF);

//Fail-safe Direction Configuration Register 2 (0x15), set each port IO's to OUTPUT (0xFF)
SPI_TRANSFER(0x15, Port_0, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x15, Port_1, 0xFF);
SPI_TRANSFER(0x15, Port_2, 0xFF);

//Fail-safe Output Register 1 (0x16), set the port output logic to 0xAA (high-low-high...)
SPI_TRANSFER(0x16, Port_0, 0xAA);
SPI_TRANSFER(0x16, Port_1, 0xAA);
SPI_TRANSFER(0x16, Port_2, 0xAA);

//Fail-safe Output Register 2 (0x17), set the port output logic to 0xAA (high-low-high...)
SPI_TRANSFER(0x17, Port_0, 0xAA);
SPI_TRANSFER(0x17, Port_1, 0xAA);
SPI_TRANSFER(0x17, Port_2, 0xAA);

//Fail-safe Redundancy Check Register (0x18), set B0 = 1 to enable the fail-safe redundancy check
SPI_TRANSFER(0x18, Port_0, 0x01);
```

示例硬件设置的方框图如下所示。MCU 丢失通信，无法再清除 PMIC 的看门狗标志。将故障信号 $\overline{\text{SAFE_OUT}}$ 发送到 TXE8124-Q1 的 FAIL_SAFE 引脚，以触发失效防护模式。TXE8124-Q1 将输出上文编程的失效防护逻辑。所有 I/O 端口的输出都将为 0xAA，在 MCU 无法工作的情况下，将高侧开关和电机驱动器的功能设置为已知输出状态。0xAA 的值完全是任意设定的，仅用于演示目的。在实际系统应用中，跛行回家模式状态的具体数值可能会有所不同。

使用 **TPS4HC120-Q1** GPIO 控制型高侧开关来驱动 LED，以实现可视化呈现。在汽车应用中，高侧开关通常用于驱动照明系统、电机控制、各类传感器与执行器、继电器、电子保险丝以及电池管理系统中的模块。使用 LED 是为了直观展示当 **TXE8124-Q1** 进入失效防护模式后，高侧开关何时被禁用。

使用 **DRV8714H-Q1** 电机驱动器驱动两个带风扇的小型电机，以实现可视化呈现。当 **TXE8124-Q1** 进入失效防护状态时，可以轻松观察到哪个电机在继续运行，哪个电机被禁用。

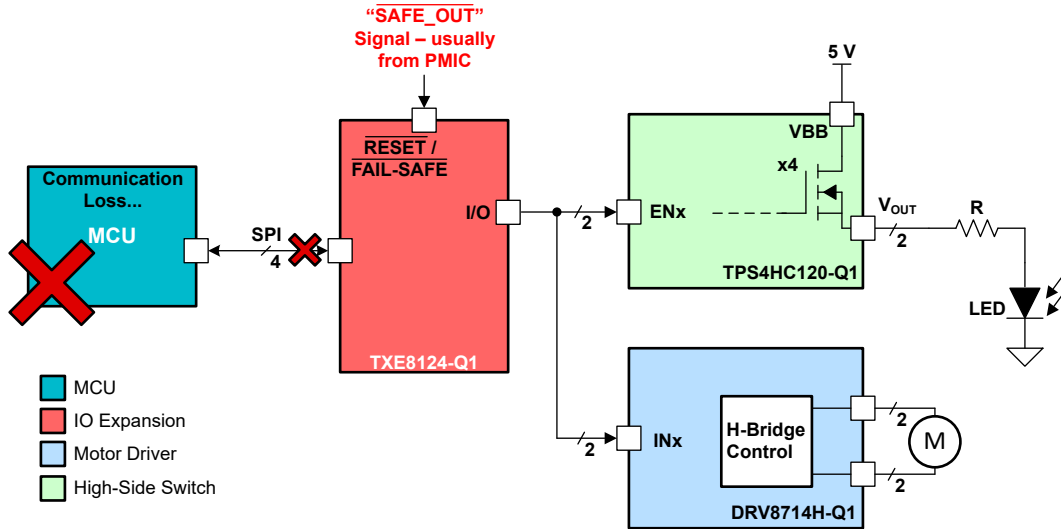


图 4-1. 用例 1 - MCU 通信丢失 - “跛行回家模式”

以下是在正常状态下运行的 **TXE8124-Q1**。端口 0 = 0x00，端口 1 = 0x55，端口 2 = 0x0F。这些值是为输出状态任意选择的。端口 2 控制 **TPS4HC120-EVM** 和 **DRV8714H-Q1EVM** 的输入，用于使能系统中的两个 LED 和两个电机。

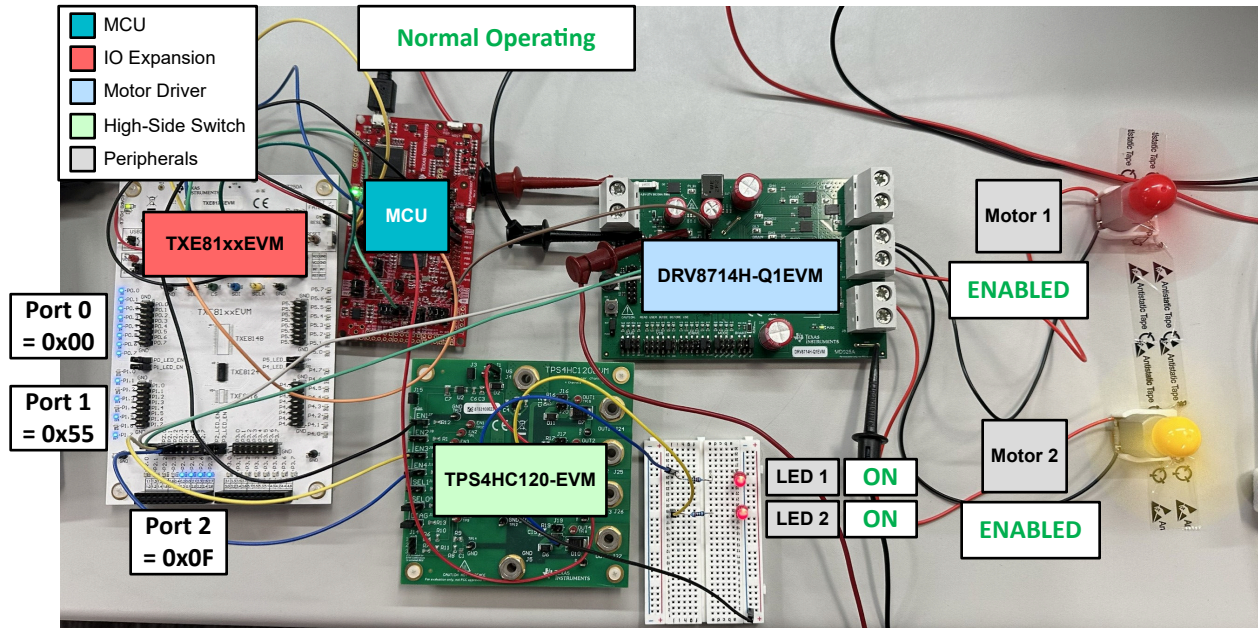


图 4-2. TXE8124-Q1 在 TXE81xxEVM 上的正常运行状态

在失效防护状态下，TXE8124-Q1 的失效防护引脚被拉至低电平，指示系统将进入失效防护状态。

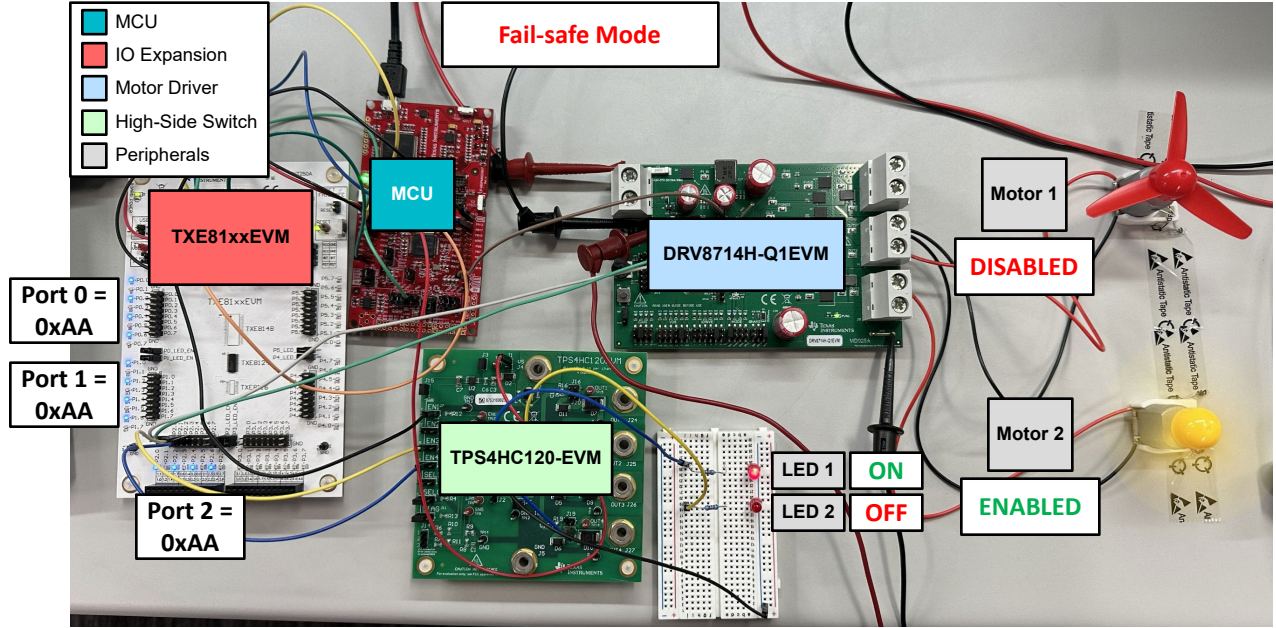


图 4-3. 失效防护模式 - 输出端口设置为 0xAA - 这会禁用电机 1 和 LED 2

尽管此台架示例代表了真实的汽车区域控制模块，但它清晰地展示了 TXE81xx-Q1 I/O 扩展器在 MCU 丢失通信时可进入的预配置失效防护状态，即跛行回家模式状态。

5 失效防护用例 #2 - MCU 软件更新/重启

在典型的软件定义汽车应用中，MCU 可能需要执行更新或重启流程。当 MCU 处于复位状态时，I/O 不能处于不确定的状态。为了保持 I/O 的确定性，像 TXE81xx-Q1 这样的 I/O 扩展器可以在 MCU 更新或重启期间保持必要的状态。

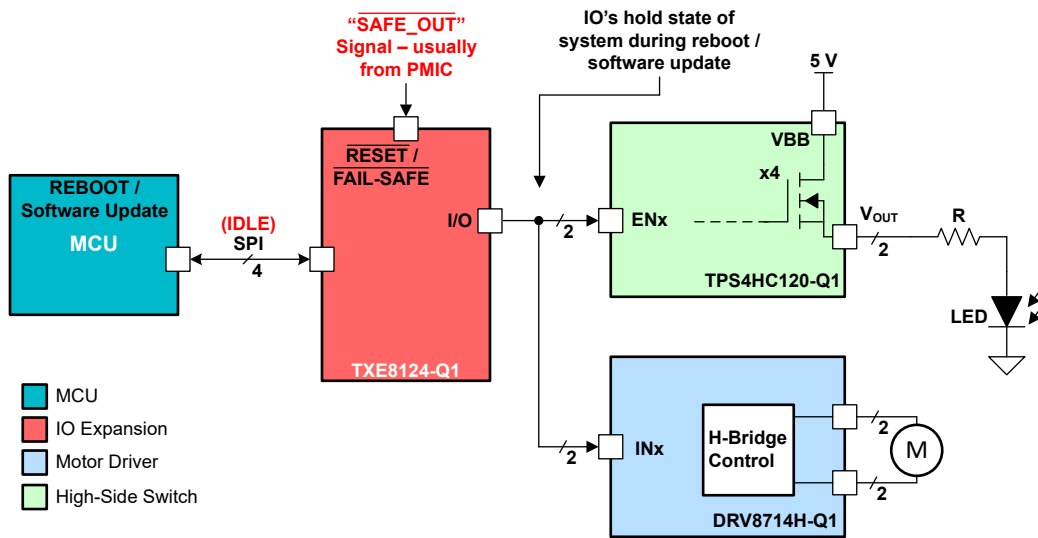


图 5-1. MCU 进入重启或软件更新状态 - TXE81xx-Q1 可将区域内的器件保持在已知状态

6 总结

TXE81xx-Q1 SPI 控制型 I/O 扩展器可用在某些汽车区域控制模块中，这些模块要求在 MCU 或处理器通信丢失时进入失效防护状态。TXE81xx-Q1 凭借其失效防护寄存器组实现了多样的功能，同时还能为大型区域控制模块平台提供所需的额外 I/O (16 位、24 位、48 位)。

7 参考资料

- 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。
- 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。
- 德州仪器 (TI), [TXE8148-Q1 数据表](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS4HC120-Q1、120m \$\Omega\$ 、2A、四通道汽车级智能高侧开关](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [DRV871x-Q1 具有宽共模内嵌式电流检测放大器的汽车级多通道智能半桥栅极驱动器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS4HC120EVM 评估模块](#), EVM 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [DRV8714H-Q1EVM 产品页面](#)。
- 德州仪器 (TI), [TXE81xxEVM 产品页面](#)。
- 德州仪器 (TI), [TXE8124-Q1 功能安全 FIT 率、FMD 和引脚 FMA](#), 功能安全引脚 FMA

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