

Application Brief

借助 SPI 电子保险丝开关缩减系统物料清单并降低 MCU 引脚要求



David Martinez, Donovan Porter

配电箱和区域控制模块 (ZCM) 等配电电子控制单元 (ECU) 需要可配置的智能电子保险丝开关来消除对本地微控制器 (MCU) 的依赖, 从而安全地保护线束。此外, 由于车辆集成了额外的功能, 需要 MCU 来控制或监测大量外设 (负载驱动器控制、输入管理、诊断等), 导致 ZCM MCU 通用输入和输出 (GPIO 或 I/O) 以及模数转换器 (ADC) 引脚变得有限。因此, TI HCS 系列智能电子保险丝开关实现了串行外设接口 (SPI), 以提供电子保险丝功能的灵活控制和配置, 例如保险丝时间-电流曲线、低功耗模式和电容充电模式, 这在[适用于区域控制器中配电应用且完全可通过软件配置的高侧开关](#)应用简报中进行了详细讨论。ADC 与 SPI 的集成使硬件设计工程师能够直接缩减系统物料清单 (BOM), 从而降低整个电子保险丝设计的成本并减小其尺寸。此外, 标准 SPI 和 SPI 菊花链配置减少了控制和监测电子保险丝输出所需的 MCU 引脚和分立式 I/O 扩展器设计数量。

缩减 BOM 和 MCU IO

与 GPIO 控制的电子保险丝和高侧开关相比, SPI 的优势在图 1 中得到了全面体现。

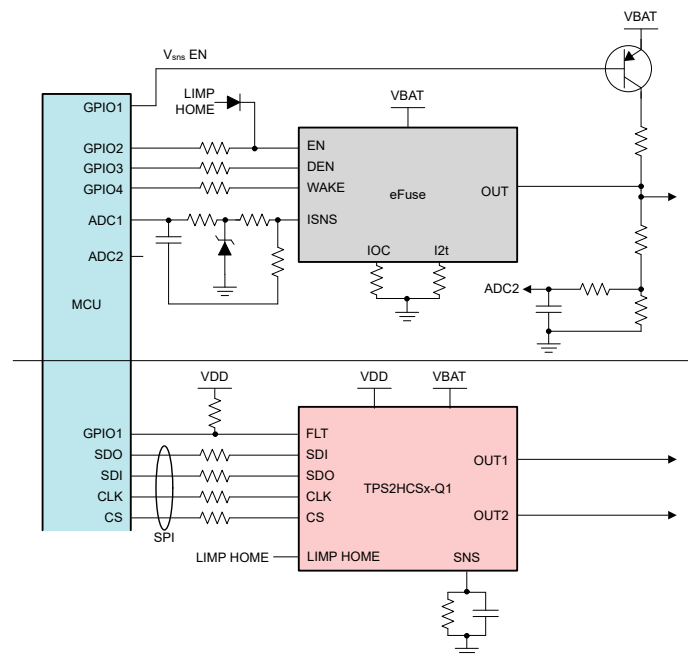


图 1. GPIO 与 SPI 电子保险丝开关

GPIO 控制的器件至少需要四个引脚来控制器件输出和诊断。多通道器件针对每个输出通道需要一个额外的引脚, 以及用于选择模拟输出对应通道的引脚 (对于电流测量)。此外, GPIO 控制的器件需要对模拟电流检测输出进行滤波和钳位, 以降低模拟信号中的噪声并保护 MCU ADC 引脚免受过压情况 (可能在过流事件期间出现) 的影响。为了实现额外的诊断功能, 硬件工程师通常会在输出端添加 BJT 或 MOSFET 和电阻器, 以区分电池短路或负载开路故障情况。如果系统需要测量输出电压, 则需要额外的分压器和 MCU 的 ADC 引脚。相比之下, TPSxHCS 系列电子保险丝集成了 ADC 与 SPI 控制, 减少了配置、控制和诊断反馈所需的 MCU 引脚。因此, 不再需要大多数无源器件, 包括 ADC 滤波元件、保险丝设置电阻器、上拉 BJT/MOSFET 和分压器。此外, 无需

MCU ADC 引脚即可测量输出电流、输出电压、电源电压或 FET 温度，因为可通过 SPI 读取这些信息。在实现多个外设的 ECU (如区域控制模块) 中，MCU 的 I/O 和 ADC 引脚会很快被 GPIO 控制的电子保险丝、高侧开关和其他外设占用。因此，会添加额外的 I/O 扩展设计，例如多路复用器 (用于模拟信号)、I2C 或 SPI I/O 扩展器和/或移位寄存器。图 2 展示了五个单通道电子保险丝，它们由单通道 GPIO 控制型电子保险丝驱动，与双通道 TPS2HCSx-Q1 SPI 电子保险丝相比，具有额外的 I/O 扩展器和多路复用器。

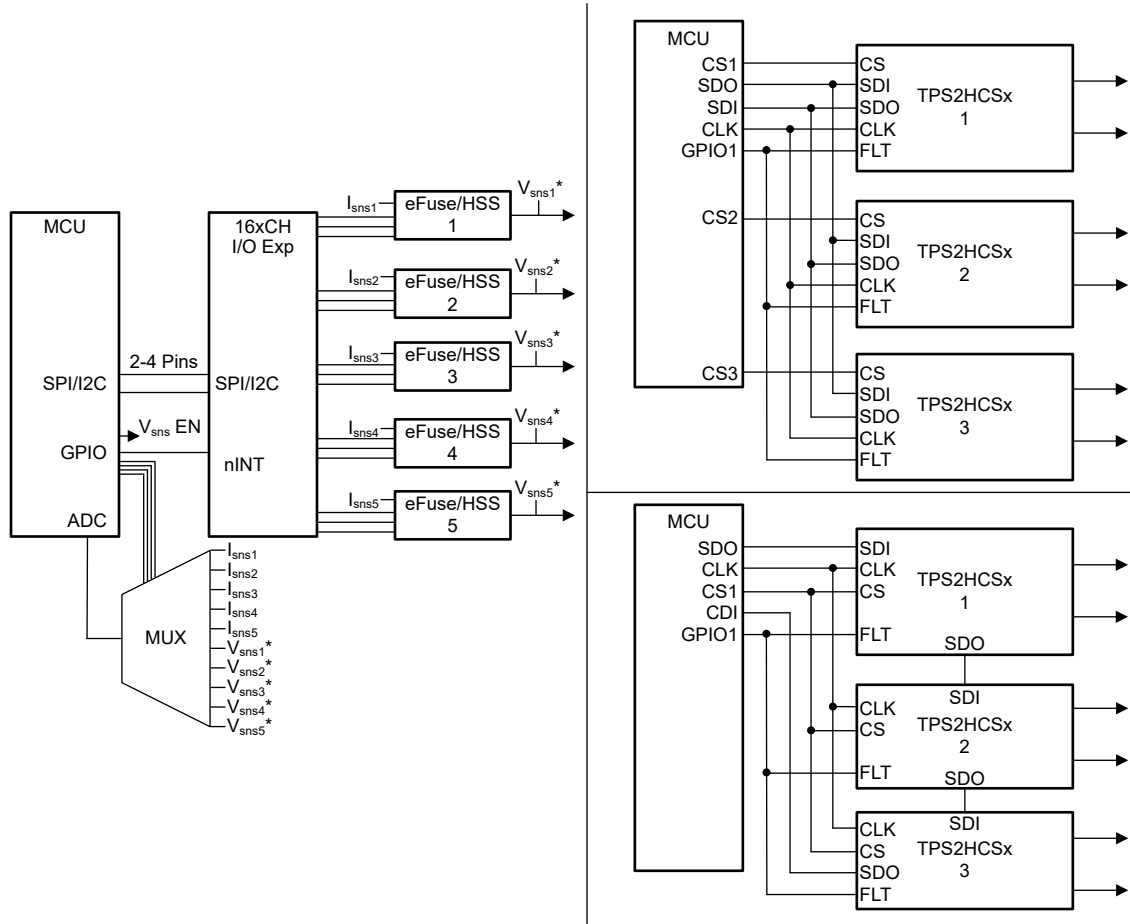


图 2. GPIO 与 SPI 电子保险丝系统比较

每个 I/O 扩展器都会向系统 BOM 中添加元件，因此成本会增加。SPI 电子保险丝允许多个器件共享一个 SPI 端口，而每个电子保险丝需要单独的片选引脚 (每个电子保险丝 3 个引脚和 1 个 CS)。除了标准 SPI 实现外，HCS 系列电子保险丝还包括 SPI 菊花链配置，允许在链中的所有电子保险丝器件之间共享单个片选引脚。这使得仅需 5 个 MCU 引脚就可以实现对所有电子保险丝的控制和诊断反馈。表 1 总结了各种方法。

表 1. 电子保险丝设计比较

电子保险丝设计	输出通道数量	MCU GPIO 引脚	MCU ADC 引脚	IC 数量	大致的电子保险丝无源器件
GPIO 电子保险丝	5	16	5-10	5	1 个 FET/BJT、60 个电阻器、10 个电容器、10 个二极管
GPIO 电子保险丝 + IO 扩展器	5	8-10	1	7	1 个 FET/BJT、47 个电阻器、1 个电容器、6 个二极管
SPI 电子保险丝标准	6	7	0	3	18 个电阻器、3 个电容器
SPI 电子保险丝菊花链	6	5	0	3	18 个电阻器、3 个电容器

2 个额外的 I/O 扩展器集成电路 (IC) 将所需的 MCU 引脚数量减少了 12 至 15 个, 有助于将无源器件数量减少 26 个。相比之下, 标准 SPI 配置将 MCU 引脚减少了 14 至 19 个, 所需的无源器件减少 45 个, 并且不需要额外的 I/O 扩展 IC。SPI 菊花链进一步将 MCU 引脚数量减少了 16 至 21 个。使用 SPI 菊花链时, 只需要 5 个引脚, 如果向链中添加更多电子保险丝器件, 可进一步减少所需的 GPIO 和 ADC 引脚。

SPI 菊花链测试结果

图 3 展示了为测试 TPS2HCS10-Q1 菊花链 SPI 功能而创建的 PCB。该 PCB 上总共实现了 10 个双通道电子保险丝开关, 并提供以菊花链形式连接 4、6、8 或 10 个器件的选项。电子保险丝器件还可以拆分到两个不同的菊花链, 每个链分别包含四个和六个器件。

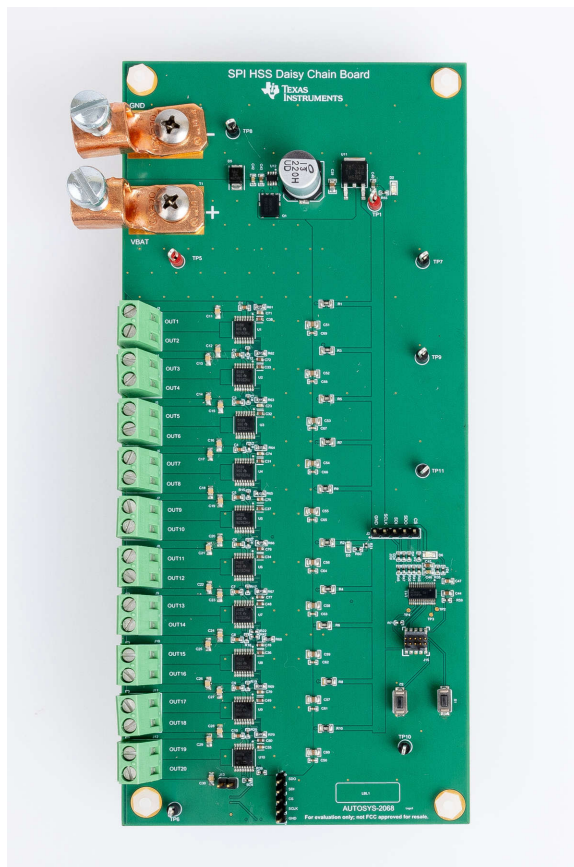


图 3. 电路板照片

表 2 汇总了针对 4、6 和 10 个器件的菊花链配置收集的延迟时序数据。每种配置均在 2MHz、4MHz 和 8MHz 的 SPI 时钟频率和 80MHz 的 MCU (MSPM0G) 内核时钟频率下进行测试。

表 2. 延迟时序总结

器件数	SPI 频率 (MHz)	预期读取延迟 (us)	测得的读取延迟 (us)	预期写入延迟 (us)	测得的写入延迟 (us)
4	2	96	105.9	48	49.70
	4	48	58.61	24	25.79
	8	24	34.81	12	13.892
6	2	144	155.70	72	73.55
	4	72	85.17	36	37.89
	8	36	49.49	18	20.06
10	2	240	244.12	120	120.98
	4	120	124.78	60	61.55
	8	60	65.32	30	31.71

图 4 展示了向菊花链中 10 个器件发送读取命令的示例。首先，向 10 个 TPS2HCS10-Q1 器件发送读取命令。由于 SDO 上的数据对应于上一个 SPI 事务的数据，因此必须发送另一个读取命令。所以，延迟等于 2 个 SPI 事务的时间长度。在此测试中，SPI 时钟也设置为 8MHz。

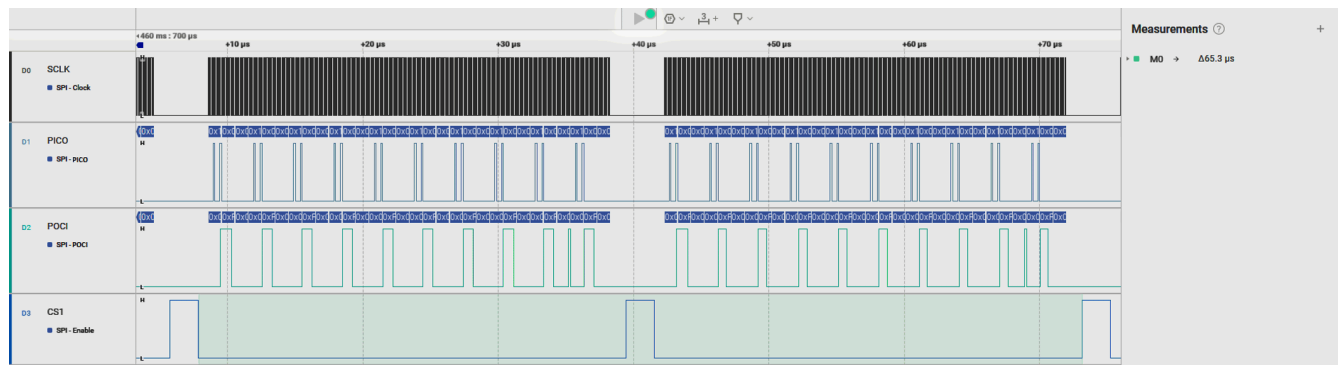


图 4. 10 器件菊花链时序

我们还进行了其他测试，以展示涉及多个菊花链的配置。如图 5 所示，我们发送了写入命令，以启用四个器件组成的菊花链和由六个器件组成的菊花链上的所有输出。此测试的 SPI 时钟设置为 2MHz。

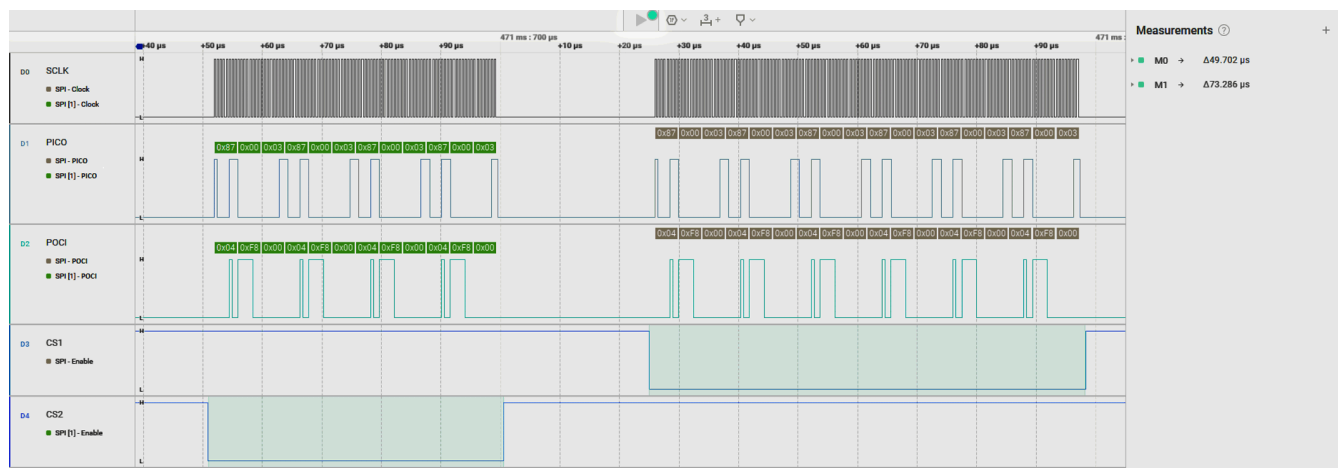


图 5. 双菊花链时序

影响延迟测量的另一个因素是 SPI 命令之间所需的 MCU 软件开销。在前面所示的测试中，工作内核时钟频率使用了 80MHz 来减少开销时间。此外，直接存储器存取 (DMA) 控制器的使用允许独立于 CPU 在 SPI TX 和 RX FIFO 之间进行数据传输，减少了此延迟。图 6 展示了 SPI 时钟为 8MHz 且内核时钟为 32MHz 下执行的写入事务。与图 4 中的结果相比，延迟减少了约 16us。对于读取命令，延迟减少了约 32us。

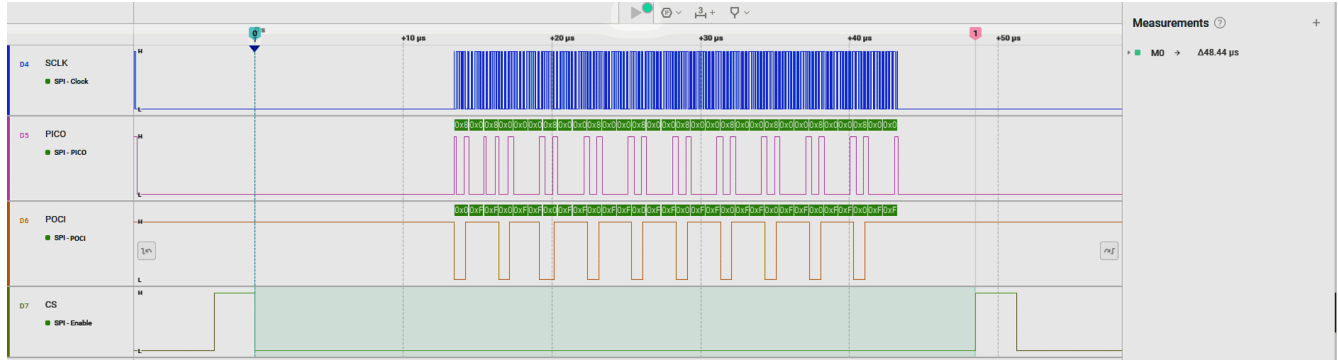


图 6. 10 器件菊花链时序 (内核时钟 = 32MHz)

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司