

## Application Brief

## 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



随着车辆架构从基于域的架构转向基于区域的架构，汽车配电拓扑正在发生巨大变化。同时，区域控制模块越来越多地采用半导体开关来代替目前主导的熔断型保险丝，用于实现配电线束保护。半导体开关的主要优势包括：

- 可重置的输出使车辆架构师能够优化保险丝的位置，因为故障后无需更换保险丝，也不需要保险丝易于接触，因此可以缩短从电源到负载的电缆长度。
- 改善了熔断时间-电流特性，并且可变性更小，因此可以缩小电缆直径、减轻重量并消减线束的制作成本。
- 为电源管理系统提供额外的功能，以提升预防性诊断和故障诊断能力（包括 ECU 负载泄漏），并帮助管理电子系统功耗，从而延长电动汽车的续航里程。基于开关的保护功能有助于系统电源管理，以实现功能安全，并提供更好的故障诊断，包括负载泄漏。

图 1 展示了从熔断型保险丝到半导体开关的过渡

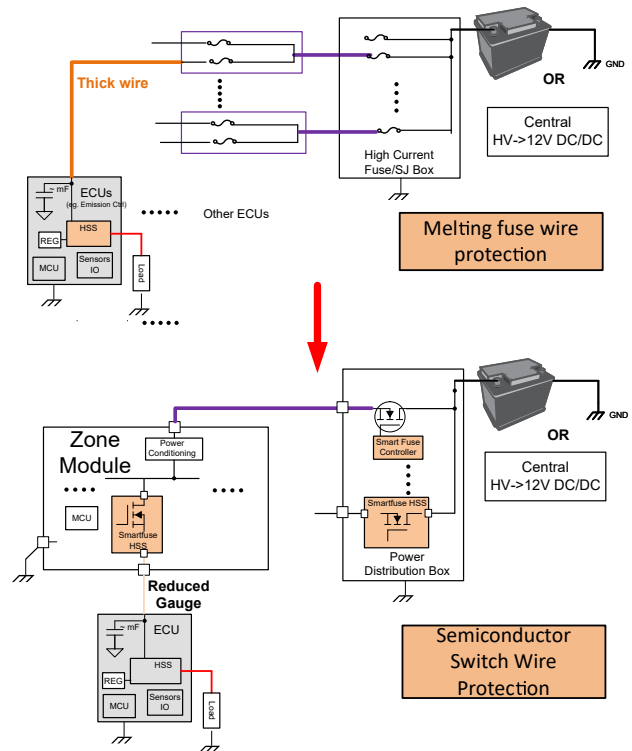


图 1. 区域控制器和配电箱中的熔断型保险丝替代产品

当用作智能保险丝器件时，半导体高侧开关中存在许多需要克服的挑战。这些挑战包括降低开关处于导通状态时的静态电流，以及启用为负载（电子控制单元（ECU）输入）处常见大型容性负载供电的输出。此外，区域控制模块和输入/输出（IO）聚合器 ECU 通常会为各种 ECU 和执行器供电，这使设计和开发成为一项挑战。德州仪器（TI）推出了一个新型智能高侧开关产品系列，该产品系列具有集成 FET 和宽  $R_{on}$  范围，以应对这些问题。TPS2HCS10-Q1 器件是一款完全可通过软件配置的先进器件，全面解决了各种开发和技术挑战。该器件集成了配电开关所需的所有特定功能，以及用于执行器驱动应用的高侧开关中的传统保护和诊断功能。

本应用简报介绍了如何使用软件可配置器件来实现区域控制器模块的平台设计，这反映了区域架构向完全软件定义汽车发展的总体趋势。接着，我们讨论了可通过 SPI 配置的 TPS2HCS10-Q1 器件如何满足可编程保险丝特性和低静态电流等所有要求，并能够驱动任何类型的负载，无论是容性 ECU 负载还是电阻/电感式执行器负载。

### 完全可通过软件配置的开关的优势

TPS2HCS10-Q1 器件通过 MCU 的 SPI 串行接口根据负载要求配置器件并读取负载诊断信息。软件可配置的开关具有许多优势，具体包括：

- 单个平台开发可以适用于具有不同输出负载特性的各种汽车型号。这简化了开发和验证工作，从而缩短了上市时间并降低了开发和验证成本。
- 该器件可通过多种方式进行配置，并在每种工作模式下提供宽可编程范围。示例包括：
  - MCU 唤醒阈值的可编程范围（从低静态电流模式唤醒，根据 ECU 负载进行编程）
  - 关断状态开路负载检测电流阈值
  - 运行时变化，例如时间-电流保险丝特性随车辆环境温度的变化
  - 驻车（熄火）模式与行驶模式下的器件行为
  - 器件参数可以在运行时更改，以实现更准确的负载诊断。例如，通过电流检测比和 ADC 输入增益可实现出色的低电流检测精度和分辨率。
- 无需外部无源器件即可配置器件以提供保护或诊断。通过 SPI 接口持续提供多种开关状态和负载故障诊断信息，从而减少 MCU 的开销。集成的 ADC 能够通过 SPI 接口全面读取数字诊断数据，因此无需再依赖基于 MCU 的 ADC 来单独读取电流与电压输出。请参阅图 2，了解如何在没有外部元件的情况下检测输出电压并区分电池短路/开路负载故障。图 1
- 用于软件配置、控制和诊断的数字接口可减少 MCU IO 引脚需求，从而降低额外的 IO 扩展器成本并减小 PCB 面积。

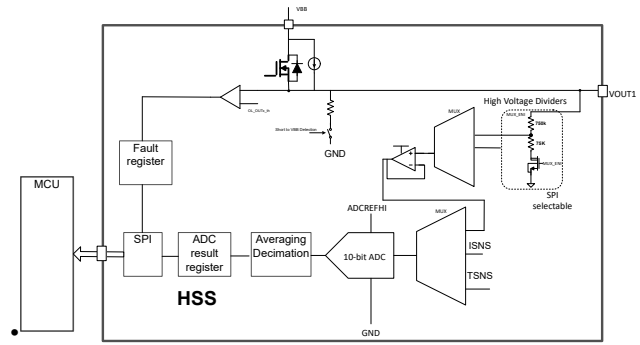


图 2. 无需外部元件就能实现输出电压和电池短路或开路负载故障的检测，且大大减少了 MCU 的开销

### 可配置的保险丝特性

TPS2HCS10-Q1 包含嵌入式保险丝的时间-电流特性曲线，以根据负载电流的时长和强度来判断是否/何时关闭开关。该功能使得该器件可以在短时间内承受高负载电流（例如电机浪涌或失速电流），但在过载情况下会自动切断，以保护线束、PCB 布线和连接器。该器件可与熔断型保险丝相比较，但器件间差异要小得多。此外，通过 TPS2HCS10-Q1 中的 SPI 配置，仅需设定标称电流和关断能量触发阈值两个关键参数，即可灵活编程多种保险丝特性曲线。标称电流大致相当于熔断型保险丝的额定电流，与该导线的直流电流能力相匹配。但是，与熔断型保险丝不同，该器件提供了额外的选项，可针对给定的标称电流额定值对时间-电流曲线的多种选择进行编程。此宽范围适用于该器件系列的每个导通电阻 ( $R_{dsON}$ ) 型号。然后，熔断时间-电流曲线与基于 ADC 电流检测的可配置延迟关断电流和用于短路保护的极快关断功能相结合。

图 3 展示了整个电流范围内的整体保护方案。该图还展示了如何从可编程选项中选择保险丝曲线，以满足导线保护要求，同时允许所有正常负载瞬态通过。

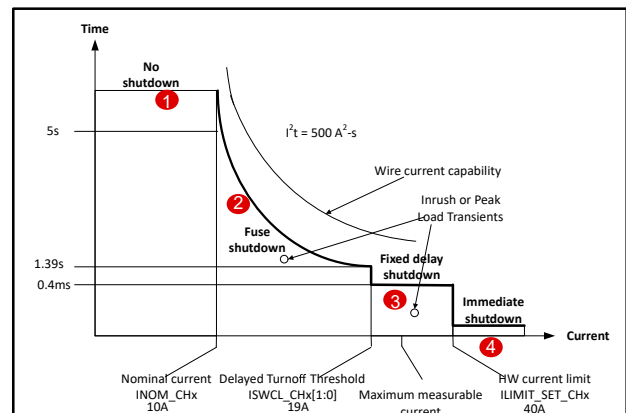


图 3. 可编程保险丝特性

## 低静态电流模式

许多 ECU 即使在车辆处于驻车 ( 熄火 ) 状态时也需要供电。此外, 为这些 ECU 供电的开关在开关处于导通状态时需要消耗极低的工作电流并提供少量负载电流。然而, 在执行监控功能的同时, 负载可能会在短时间内容求数十甚至数百 mA 的峰值电流 ( 和低占空比 )。配电开关的目标是在低静态电流模式下工作来提供峰值电流, 并在负载需要超过峰值电流的电流时, 切换到正常工作模式, 然后将此情况发送给 MCU。

TPS2HCS10-Q1 器件旨在满足始终通电 (PAAT) 开关应用的所有这些关键要求。

- 该器件能够以非常低的静态电流 ( 低功耗模式或 LPM ) 运行, 同时每通道可在短时间 ( 数毫秒 ) 内提供高达几百 mA 的电流。该通道仍然具有相对较低的  $R_{dsON}$ , 因此在低功耗模式下的整个温度范围内和器件型号范围内, 压降小于数十 mV。
- 在低电流模式下, 输出端提供短路保护。换句话说, 如果在低功耗模式下输出开启时发生短路, 该器件可以保护自身和线束。
- 该器件会自动响应任何输出通道中的负载电流增加, 同时保持在压降规格范围内 ( 并与任何短路进行区分 )。然后, 该器件会通过 nWAKE\_SIG (nFLT) 引脚向微控制器发送信号以唤醒区域控制器 ( 系统 MCU )。此外, 可通过 SPI 配置触发唤醒信号的负载电流阈值, 这是相对于硬件控制型器件的一大优势, 因为负载 ECU 具有不同级别的唤醒电流。MCU 通常处于低功耗睡眠模式, 并响应由电源开关器件驱动的 IO 中断请求。除非负载电流突然增加, 否则输出电压不会出现下降。在这种情况下, 器件将在数十微秒内恢复到正常工作模式。

进入和退出低静态电流模式 (LPM) 的状态转换图如图 4 所示。进入 LPM 状态由 SPI 命令控制, 用于车辆熄火或负载的其他低电流状态。从 LPM 退出并进入运行状态可以通过 SPI 命令完成, 或者当负载电流增加时也会触发该转换。

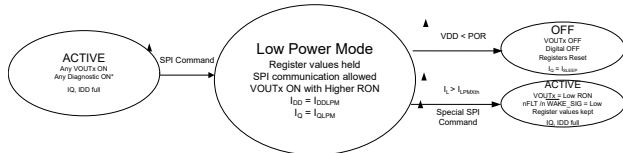


图 4. LPM 模式状态图

表 1. TPS2HCS10-Q1 的主要特性和系统优势概述

特性	TPS2HCSxx-Q1 集成式 FET 智能电子保险丝高侧开关	系统优势
MCU 接口	可实现菊花式连接的 SPI HSS	完全可通过软件配置 ( 针对每个输出负载进行定制 )。通过 SPI 即可实现最大负载和故障诊断功能, 无需外部元件
低静态电流模式, 系统唤醒	峰值电流能力高达 1A ( 熄火状态 ) 和可编程唤醒阈值。两个通道都开启时电池电源 VBB 的 Iq 最大值小于每通道 10µA	低 Iq 和更高的电流能力, 无需外部元件或 FET。器件可以转换到低功耗模式, 以降低活动状态下的电流消耗, 并具有可编程的唤醒阈值。该器件会生成 WAKE_SIG, 以在负载电流增加时唤醒 MCU。

## 可配置容性负载驱动模式

完全可通过软件配置的器件具有一个显著优势, 那就是可以进行定制来驱动 ECU 负载上的大容性负载。该器件可以配置为电容充电模式, 当需要考虑电容值和并联电路中的负载电流消耗情况时, 这是理想之选。该器件提供两种模式, 一种是恒流充电模式, 适用于在充电阶段有很大负载电流的情况; 另一种是固定 dV/dt 速率充电模式, 适用于需要以极低充电电流进行充电的超大容性负载。在任一种情况下, 电子保险丝都能在可编程的充电时段里, 将浪涌电流限制在一个较低值。图 5 展示了充电和负载电流驱动的行为表现。电容充电的所有参数, 包括充电电流 ( 或 dV/dt 速率 )、充电持续时间和类型, 均可通过 SPI 进行配置。

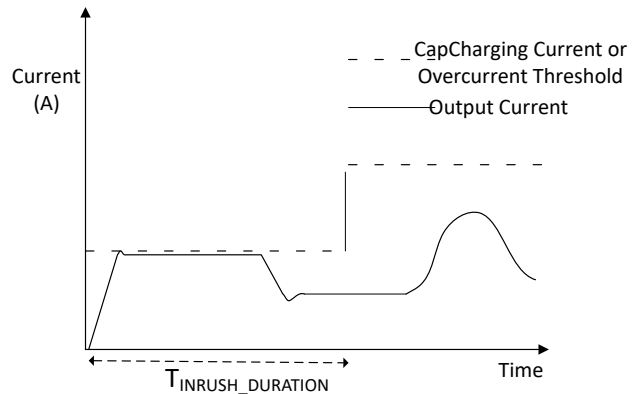


图 5. 可配置容性负载驱动模式

## 总结

本文档重点介绍了新款 TPS2HCS10-Q1 的主要优势, 该器件是完全可通过软件配置的先进智能高侧开关。该器件不仅有助于实现快速平台开发并缩短上市时间, 同时还解决了从熔断型保险丝线束保护向半导体开关过渡时遇到的一些挑战。表 1 概述了这些功能的主要特性和系统优势。

**表 1. TPS2HCS10-Q1 的主要特性和系统优势概述 (续)**

特性	TPS2HCSxx-Q1 集成式 FET 智能电子保险丝高侧开关	系统优势
电容充电	较慢的斜坡 $dV/dt$ 或电流限制电容充电模式。可在恒流负载下提供高 ( $>2mF$ ) 电容充电。	将负载配置为容性负载或执行器以及相关的浪涌曲线。对电容充电周期数没有限制。在完成初始配置后, 无需 MCU 干预即可启用并计时充电模式
过流保护	过流保护阈值可通过 SPI 编程。双浪涌电流阈值。	降低短路期间的电源压降。设置阈值时无需使用外部元件。
I <sub>2t</sub> 过载保护	数字且可编程, 无需外部元件 (可变性更小)	完全可编程的熔断时间-电流曲线和低可变性导线保护使线束更轻, 而无需 MCU 参与。无需 MCU 监控多个通道的电流, 简化了软件设计, 同时即使 MCU 发生故障也能提供全面的保护。
用于增强功能安全的诊断功能	数字电流, V <sub>OUT</sub> , V <sub>ds</sub> 诊断	通过测量 V <sub>OUT</sub> /V <sub>DS</sub> ADC, 更好地进行负载诊断。通过内置 ADC 实现非常精确的低电流检测, 用于泄漏/开路负载诊断 (使用偏移/泄漏修整功能)。无需外部元件即可进行开路负载/电源短路和 FET 短路故障检测。

**参考资料**

- [SPRY345](#)

**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