

Henry Zhou

Systems Engineering and Marketing

引言

在接下来的几年中，将汽车应用中的熔断型保险丝替换为智能保险丝的热潮可能会有增无减。熔断型保险丝在汽车中应用了数十年，用于防止对电缆造成热损坏。这些保险丝始终具有高可靠性和低成本。随着电子控制单元 (ECU) 数量的增加以及高功率 MOSFET 技术的成熟，MOSFET 可用于替代传统的熔断型保险丝。本应用简报中将智能保险丝定义为 MOSFET，这是一种基础保护机制，熔断型保险丝可能无法比拟。智能保险丝可轻松测量电流和管理负载。在发生故障时，智能保险丝特别易于维护。智能保险丝无需更换，可使用软件进行复位。

本文论述了德州仪器 (TI) 对智能保险丝设计在不同电流电平下的调查研究。图 1 展示了所实施的智能保险丝设计的方框图。负载电流小于 10A 时，此实施方案中使用了 TI 的高侧开关，如 TPSXHBXX-Q1 和 TPSHXXX-Q1。负载电流高于 10A 时，TPS1211x-Q1、TPS4811x-Q1 和 DRV8106-Q1 器件 (添加了外部 MOSFET) 用于实现智能保险丝设计。当然，所有这些器件都集成了电流检测功能。因此，可轻松实现基于限流的导线保护，或在微控制器 (MCU) 中使用模数转换器 (ADC) 来测量负载电流并实施复杂的 I²T 导线保护方案。

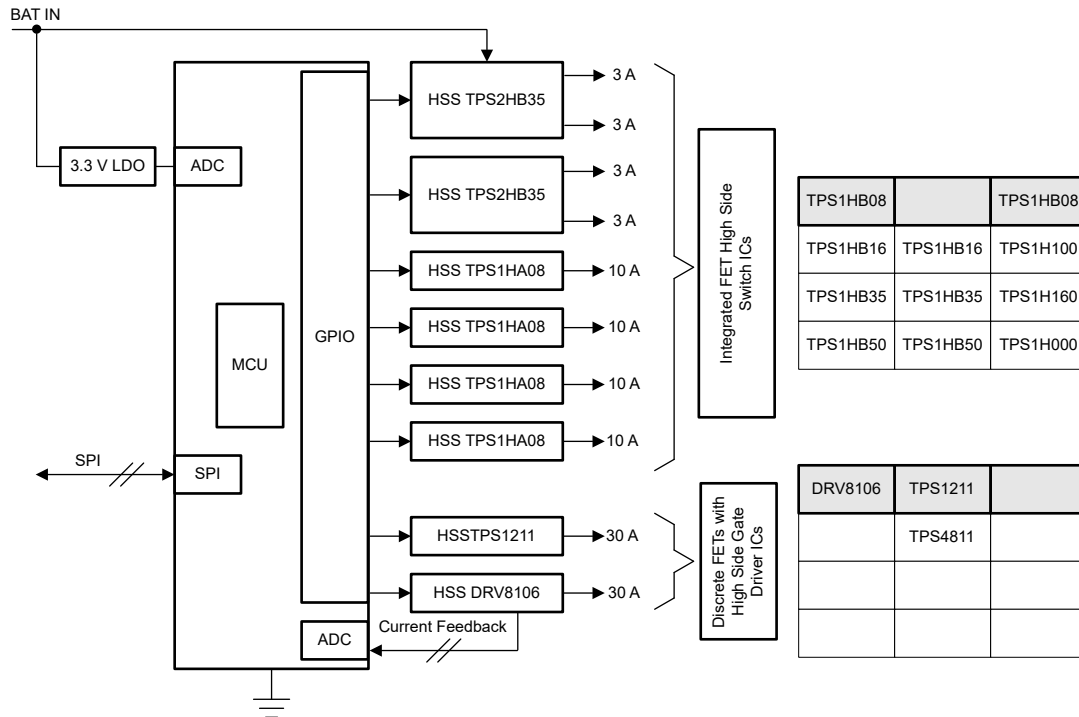


图 1. 德州仪器 (TI) 智能保险丝设计

智能保险丝的限流方法

在大多数情况下，智能保险丝设计不需要复杂的 I²T 功能；相反，限流功能足以实现导线保护。

电阻负载：电阻负载的电流始终遵循欧姆定律。因此，可以轻松设置安全电流限值。

电感负载：对于继电器、螺线管或阀门等汽车车身电感负载，直流电阻值为几欧姆。在串联 RL 电路中应用基尔霍夫电压定律， $V = i \times R + Ldi/dt$ 可以推断出稳态负载电流主要由直流电阻决定。对于 12V 电池，电流如果不是数百毫安，也只有几安培。因此可以轻松确定安全电流限值。

电容负载：电子控制单元 (ECU) 或输入电容器组等负载具有浪涌电流，因此对电子器件和导线具有高风险。在这种情况下，使用功率 MOSFET 来限制浪涌电流。图 2 所示为 DRV8106-Q1 高电流智能保险丝设计，图 3 所示为 MOSFET 在上电时的有限时间内，在饱和区内运行时产生的浪涌电流。此图显示浪涌电流限制在约 5A。当然，上电后正常电流通常低于所选的限制电流。

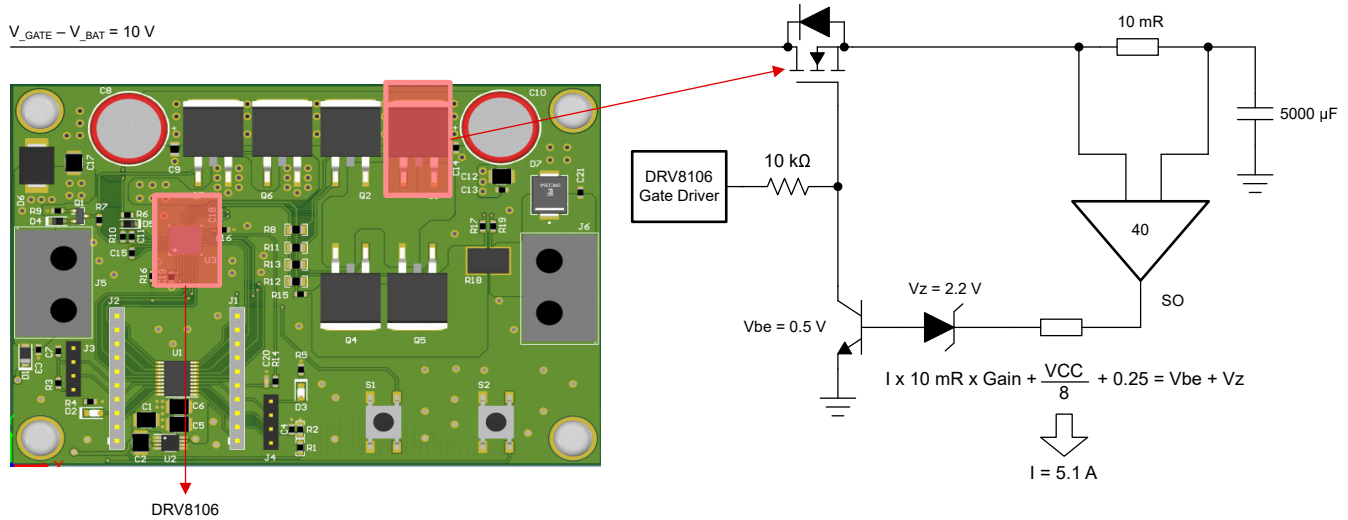


图 2. 电流限制 - DRV8106-Q1

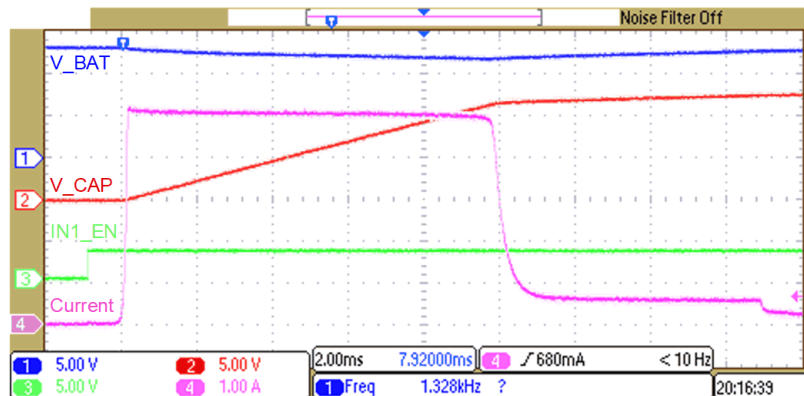


图 3. DRV8106-Q1 限流测试

基于限流的导线保护通常成本较低且比较简单，可有效地用于限制浪涌、过流和短路期间的电流。图 1 所示的 TI 高侧开关具有可调节限流功能；可使用 ILIM 引脚上的电阻器轻松配置电流限值。

智能保险丝的 I2T 保护注意事项

如果无法确定负载电流行为，例如电子控制单元 (ECU) 非常复杂，并驱动多种不同类型的负载，或如果负载为灯泡，则 I2T 导线保护方案比限流保护更有效。图 4 展示了图 1 中方框图基于 I2T 的实现方案。在这种情况下，I2T 保护算法在 MCU 中实现。

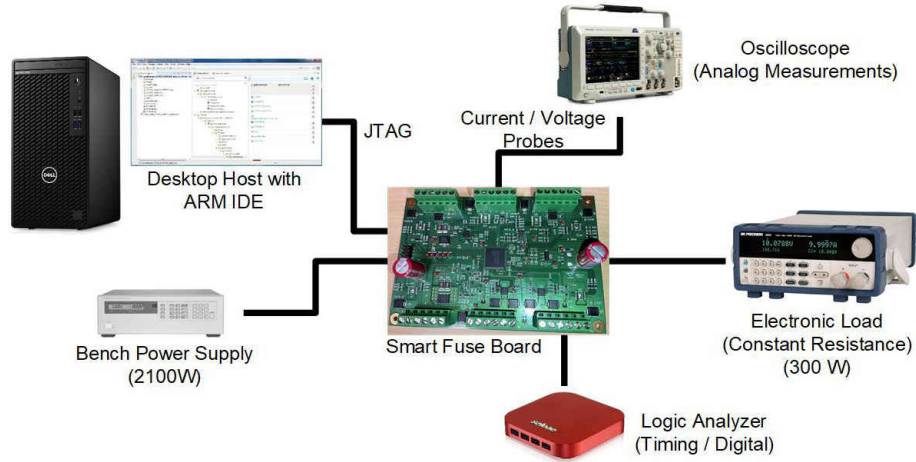


图 4. 智能保险丝电路板测试设置

图 4 展示了智能保险丝设计的时间-电流特性。在该图中，曲线的第 1 段是标称工作电流，例如低于 10A 的电流。在第 1 段中，开关正常工作、无关断。曲线的第 2 段显示了 I^2 对时间的积分。在此段中，当间隔值达到预定义阈值时，高电平开关被调优。曲线的第 3 段是可选的，用于电流测量范围-分辨率之间的权衡。最后，曲线的第 4 段是高侧开关立即关断的区域。此过流功能可在 TI 高侧开关和控制器设计中轻松实现。

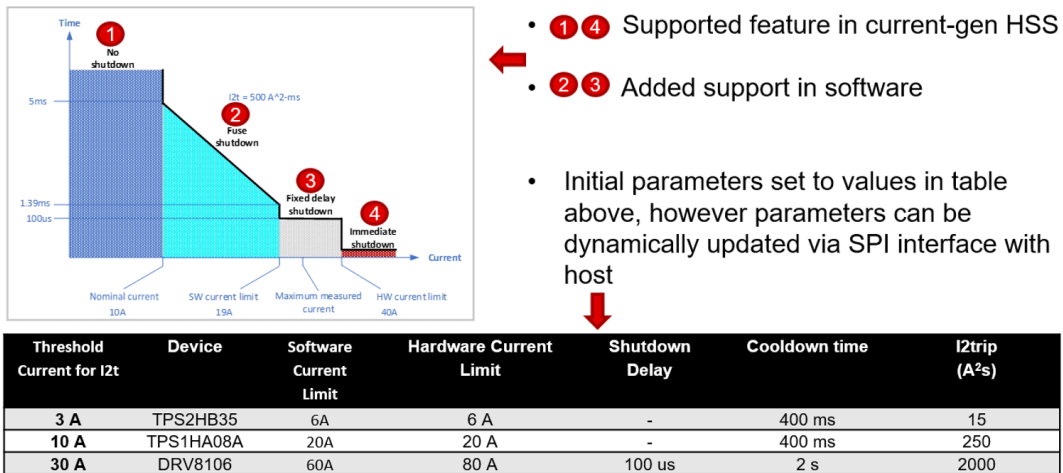


图 5. I2T 保护算法

图 5 展示了 I2T 阈值为 $15A^2s$ 时 3A 智能保险丝的测试结果。具体而言，示波器迹线显示，当 3.9A 持续 0.99s 时，通道会关闭。这是因为 $3.9A \times 3.9A \times 0.99s$ 达到了 $15A^2s$ 的阈值。

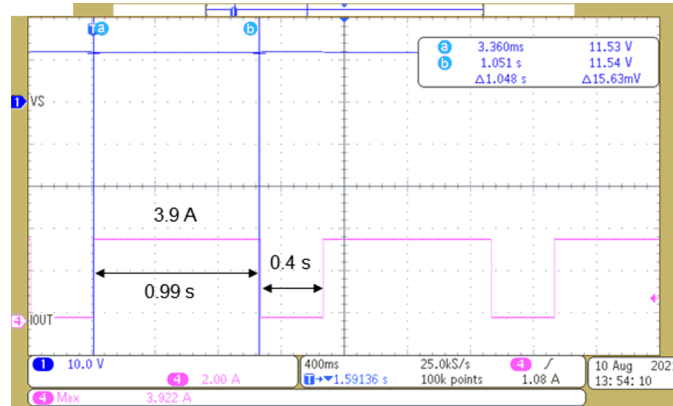


图 6. 智能保险丝测试结果

结论

智能保险丝设计已经取代了熔断型保险丝。TI 品类丰富的高侧开关和栅极控制器产品系列可用于实施更简单的限流导线保护方案或更复杂的 I2T 保护方案。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司