

## Design Guide: TIDA-020075

## 汽车级高压电池管理系统

## 双通道热熔丝驱动器电路板参考设计



## 说明

混合动力汽车 ( FHEV、PHEV ) 和纯电动汽车 ( BEV ) 的电池接线盒集成了断开电池包的核心功能，以保护电池免受过流、永久损坏或热失控的影响。

此参考设计展示了如何构建符合功能安全标准的汽车级单爆管或双爆管驱动器设计。

电路板尺寸为 44mm × 130mm。

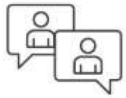
## 资源

[TIDA-020075](#)

设计文件夹

[DRV3901-Q1](#)

产品文件夹



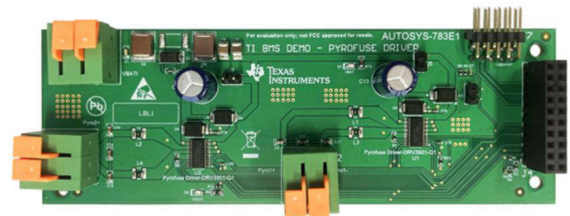
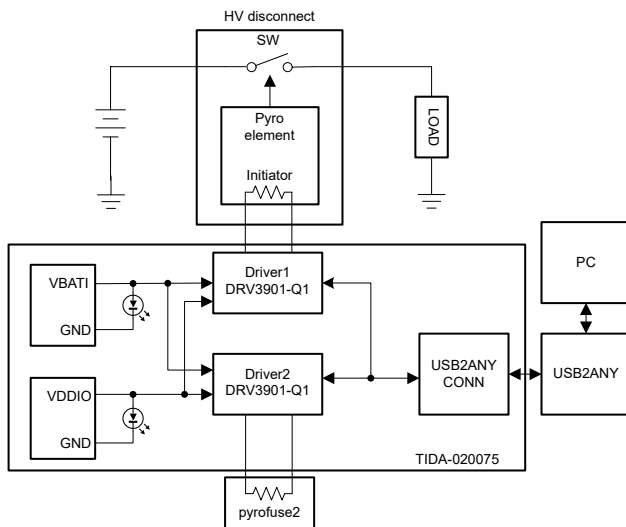
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

## 特性

- 完全集成的单热熔丝或双热熔丝驱动器设计
- 与 TI 的接触器驱动器和电池包监测器配合使用，减少线束工作量
- 可用于配置、诊断和部署的 SPI
- 通过电池包监测过流检测或碰撞传感器实现液位或心跳快速硬件引脚触发功能
- 可选储能电容器集成
- 旨在防止电池包意外断开连接以及提供断开功能的 ASIL-C 安全目标
- 储液罐存储诊断、输出和电源短路诊断、内置自检、负载 (pyro) 诊断

## 应用

- 混合动力汽车/电动汽车电池管理系统 (BMS)
- 电池接线盒
- 高压电池系统



## 1 系统说明

混合动力汽车 ( FHEV、PHEV ) 和纯电动汽车 ( BEV ) 的电池接线盒集成了断开保险丝的核心功能，以保护电池包免受过流、永久损坏或热失控的影响。关键要求包括快速响应时间，根据要求可靠部署，同时避免误触发以及高诊断覆盖率。与熔断型保险丝相比，热熔丝在部署时间和定义要触发的电流曲线方面的灵活性方面非常出色。此外，热熔丝不仅在电池包电流过大时，而且在发生碰撞时都可以主动触发。

此参考设计展示了如何构建符合功能安全标准的汽车级单爆管或双爆管驱动器设计。

此设计展示了一款适用于混合动力汽车或全电动汽车应用的单热熔丝或双热熔丝驱动器，通过典型的 12V 电源轨供电。TIDA-020075 采用 DRV3901 器件，该器件是一款专为电动汽车热熔丝应用而设计的高集成度爆管驱动器，包括驱动爆管负载所需的电源、电流检测和调节以及诊断和保护功能。该设计还整合了器件特定的多种关键功能，这些功能不同于传统爆管驱动器。其中包括硬件引脚触发接口、储能电容器诊断、可寻址 SPI 以及集成电荷泵和额外部署电流选项的优化驱动器级。

为了支持对系统储能电容器进行诊断，DRV3901-Q1 集成了一个开关和监控电路，可对储能电容器的放电电压进行偏置和监控。这使得器件和外部 MCU 能够在正常运行时检测储能电容器的缺失或故障或近似值。

功率级采用受保护的高侧和低侧开关来确保稳健性，防止各种故障情况导致的意外驱动。集成电荷泵可确保在部署期间更大限度地降低开关上的压降电压，从而支持器件在低电源电压下运行。多种部署选项可以针对不同类型的爆管负载或特定应用要求进行优化。

可以通过可寻址 SPI 总线对热熔丝驱动器进行配置、安全监控和使用。这可以降低 MCU 资源要求，并且当与 TI 的接触器驱动器 ( DRV3946 ) 共用 SPI 总线时，该设计可减少后续布线。此外，TI 的电池包监测器 ( BQ79731 ) 配备有 SPI 集线器，可通过隔离式垂直接口 ( VIF ) 进一步减少布线和隧道通信。

该 SPI 具有多种稳健性功能，其中包括 CRC、地址回读能力和各种总线故障检测机制。

作为一种替代触发方法，硬件引脚触发 ( TRGx ) 接口允许在硬件中直接向 DRV3901-Q1 发出部署命令。这样便可以灵活地使用 MCU 硬件引脚，直接使用电池包监测器 ( BQ79731 ) 的过流功能，或者通过其他外部硬件 ( 例如安全气囊碰撞检测 ) 触发部署。硬件触发器引脚支持具有阈值选项或基于 PWM 的选项的 2 引脚接口，以确保针对部署缺失问题提供稳健性，同时仍提供灵活性以支持各种接口选项。

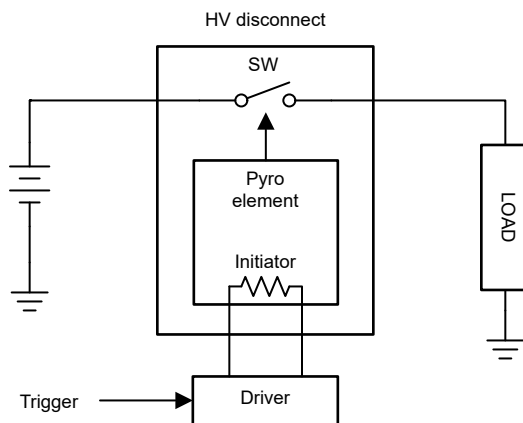


图 1-1. 典型热熔丝驱动器系统

### 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

物品	说明	典型值	单位
VBATI	电源电压	5 至 28	V
VDDIO	逻辑电源电压	4.5 至 5.5	V
TA	工作环境温度	-40 至 125	°C

## 2 系统概述

## 2.1 方框图

图 2-1 展示了将 DRV3901 用作热熔丝驱动器的系统级功能方框图。如果实现了双热熔丝设计，则会重复该功能两次。

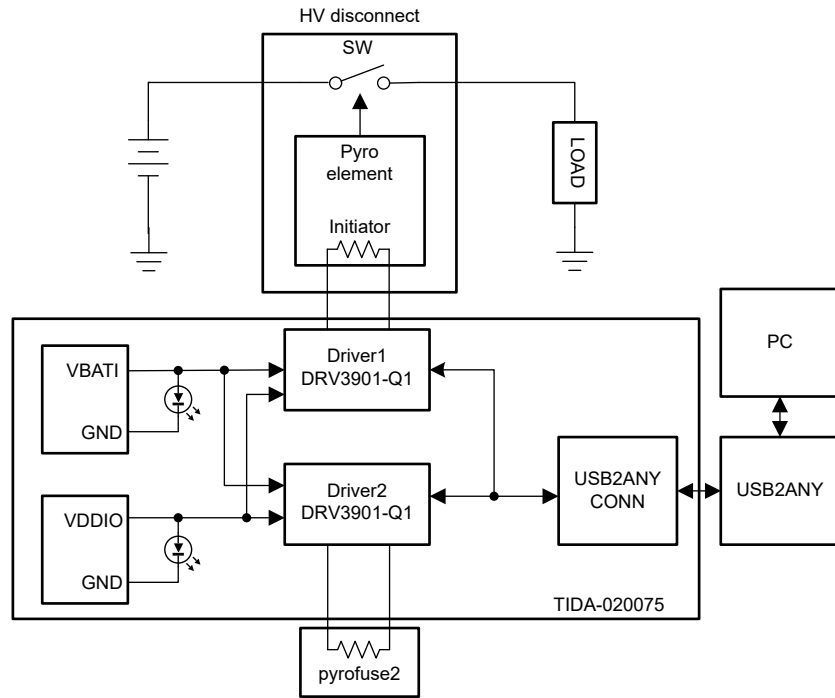


图 2-1. TIDA-020075 系统级功能方框图

图 2-2 是 TIDA-020075 设计的原理图。

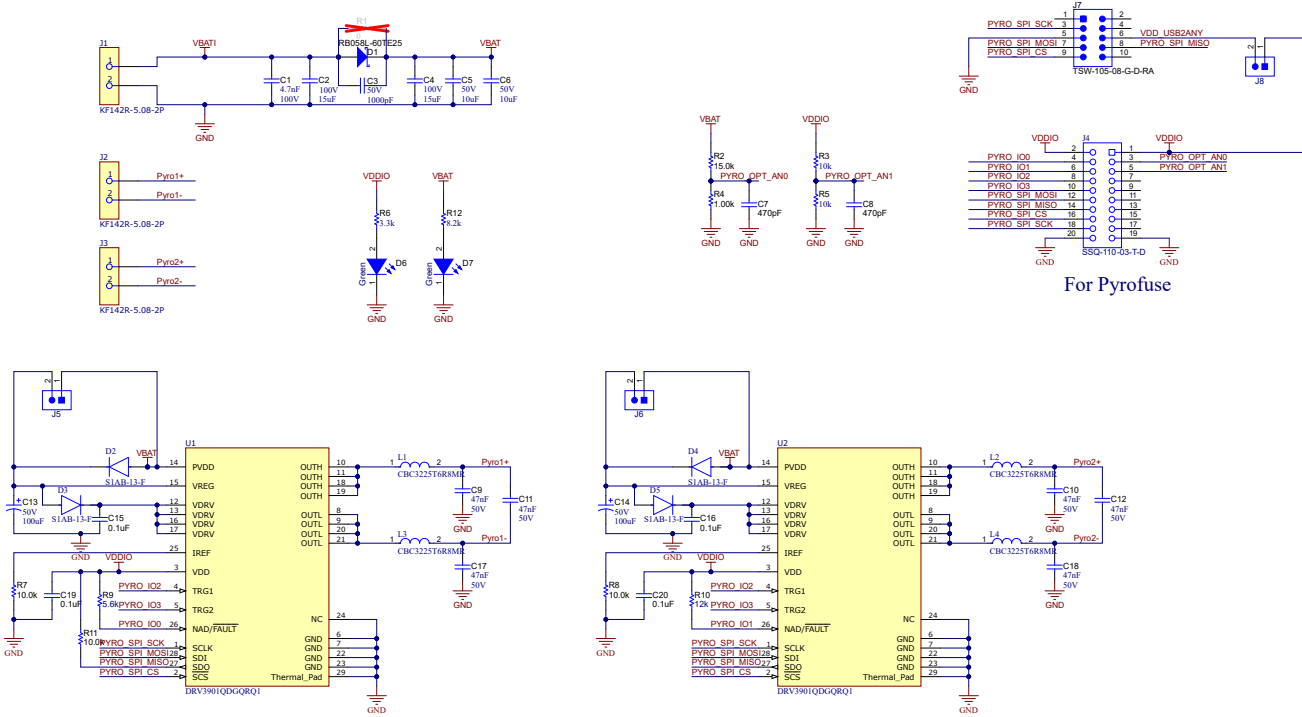


图 2-2. TIDA-020075 设计原理图

## 2.2 设计注意事项

本参考设计采用汽车断连单元。该设计是整个汽车 BMS 评估平台的一部分，可以为感兴趣的客户提供快速评估方法，以便日后实现产业化。

## 2.3 主要产品

### 2.3.1 DRV3901-Q1

DRV3901-Q1 是一款专为电动汽车热熔丝应用而设计的高集成度爆管驱动器。包括驱动爆管负载所需的电源、电流检测和调节以及诊断和保护功能。DRV3901-Q1 整合了特有的多种关键功能，这些功能不同于传统爆管驱动器。这些功能包括硬件引脚触发接口、储能电容器诊断、可寻址 SPI 以及集成电荷泵和额外部署电流选项的优化驱动器级。

DRV3901-Q1 的主要特性包括：

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
  - 温度等级 1：-40°C 至 +125°C，T<sub>A</sub>
- [功能安全合规型](#)
  - 专为功能安全应用开发
  - 帮助 ISO26262 系统设计达到 ASIL C 级要求的文档
- 针对电动汽车热熔丝应用的高集成度爆管驱动器设计
  - 集成电源、电流调节、诊断和安全功能
  - 基于 SPI 或硬件引脚的触发，可实现灵活的接口选项和快速的触发反应
  - 用于系统储能电容器和爆管健康监测的诊断功能
  - 适用于电源、接口、驱动器和监测器的内置自检和诊断功能
  - 通过冗余电源、低侧和高侧驱动器以及辅助监测逻辑实现可靠运行的架构
- 高达 28V (40V 绝对最大值) 的工作电压
- 紧凑型 HVSSOP-28 (DGQ) 引线式封装
- 双线负载接口，包括受保护的电流控制高侧和受保护的辅助低侧开关
- 集成电荷泵可实现最小 MOSFET 压降电压
- 4 线可寻址 24 位 SPI，带 CRC 保护
  - 允许多个器件在同一 SPI 上运行
  - 允许向多个器件发送广播命令。
- 可配置的部署电流 (1.2A、2ms；1.75A、0.5ms；最高 3.4A、0.5ms)
- 可配置的部署接口选项
  - 2 引脚硬件触发器，带 PWM 或电平信令
  - 具有 CRC 的受保护 SPI 命令
- 全面关断状态诊断
  - 器件内置自检
  - 驱动器输出和开关测试
  - 接口测试
  - 储能电容器测试
  - 爆管电阻测试
- 可配置故障指示器 (nFAULT)

### 3 系统设计原理

热熔丝驱动器系统设计基于原始设备制造商 (OEM) 的要求。此参考设计在给定的拓扑和诊断要求下可满足大多数设计人员要求。

- 与传统保险丝相比的差异：
  - 更快速的断开过程可更大限度地减少电弧的形成。
  - 需要特殊的驱动器。触发高压断开需要特定的电流和时序设置。
  - 主动触发可实现受控且一致的断开。

### 4 硬件、软件、测试要求和测试结果

#### 4.1 硬件要求

TIDA-020075 分为两个部分，从应用角度说明设计：

- 驱动器
- 电源和连接器

TRG1 和 TRG2 是 DRV3901-Q1 硬件触发器。该器件也可以使用 SPI 触发。J5 和 J6 默认未连接，最终客户设计中不需要。仅当 D2 和 D4 连接断开时，才需要连接该器件。在 PVDD 电源丢失的故障情况下，VREG 上为驱动器供电的本地储能电容器。

图 4-3 展示了不同的引脚接头、LED 和连接器在 PCB 上的位置。

有 2 个 LED 用于指示电源的状态。如果 VOOIO 接通电源，D6 亮起；如果 VBATI 接通电源，D7 亮起。

对于连接器，J1 是 VBATI 的输入，J2 和 J3 是热熔丝驱动器的输出。J7 是 USB2ANY 端口，可用于配置和触发 DRV3901-Q1。J4 是用于连接另一个演示板（总线控制器单元 (BCU) 板，即 BMS 系统控制器板）的端口。

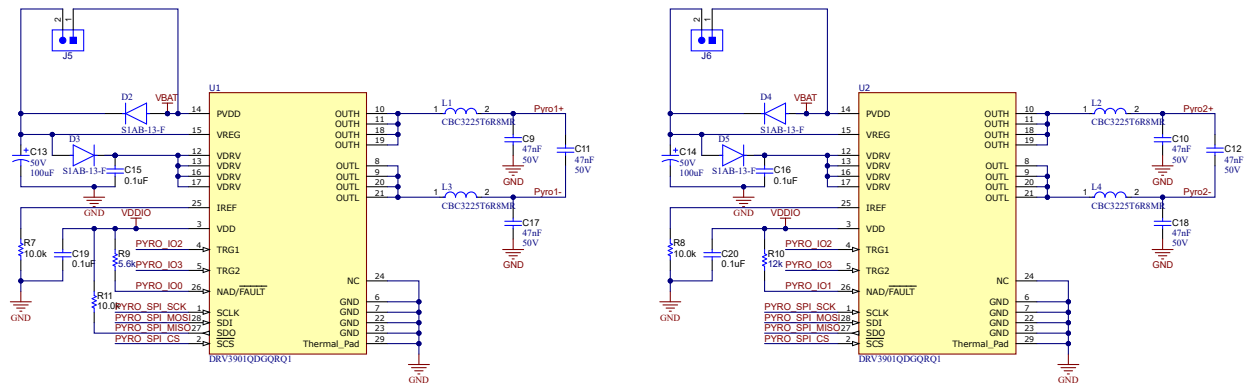


图 4-1. TIDA-020075 原理图：驱动器

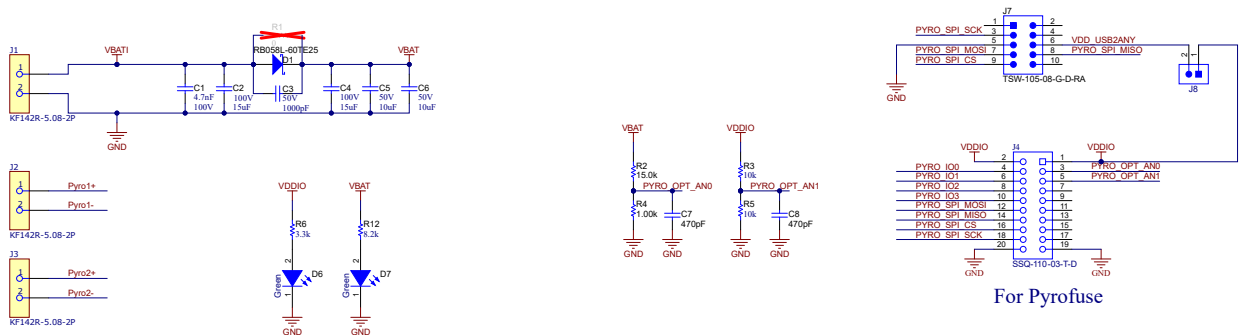


图 4-2. TIDA-020075 原理图：电源和连接器

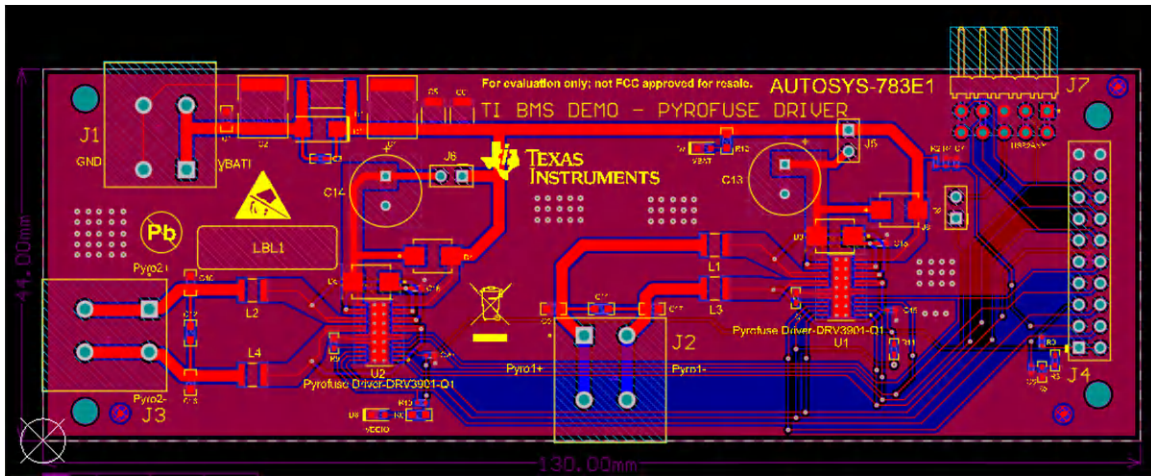


图 4-3. TIDA-020075 PCB 布局顶层

## 4.2 软件要求

该参考设计需要在 PC 中安装 [USB2ANY Explorer](#)。此 USB2ANY Explorer 可用于配置热熔丝的触发器。

## 4.3 测试设置

节 4.3.1 和节 4.3.2 提供了测试设置的详细信息。

### 4.3.1 硬件设置

按照以下步骤和参考图 4-4 来设置硬件：

1. 将 12V 连接到电源输入 (J1)，将 5V 连接到 J4，将两个热熔丝或 2 Ω 电阻器连接到 J2 和 J3。
2. 将 USB2ANY 连接至 J7 并导出到计算机。
3. 使用示波器监视 J2 和 J3 的输出。

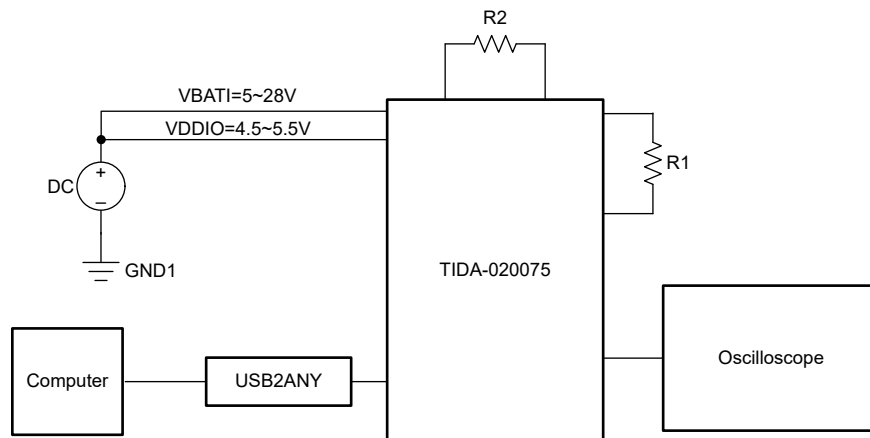


图 4-4. TIDA-020075 硬件测试设置

### 4.3.2 USB2ANY Explorer 设置

在连接 USB2ANY 之前，请确保器件已正确连接，图 4-5 展示了 USB2ANY 端口的详细信息。

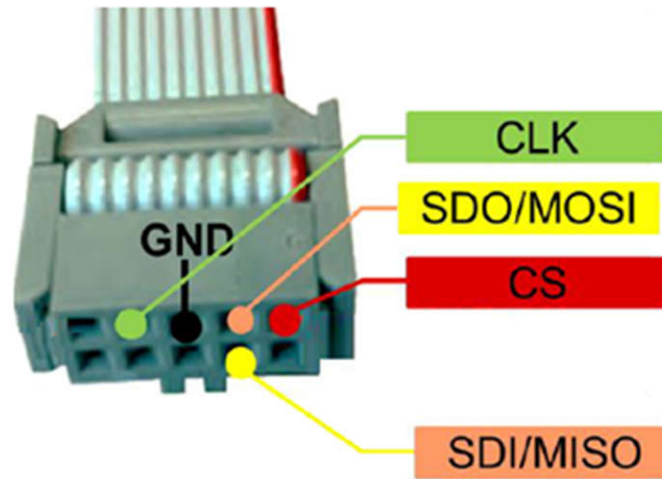


图 4-5. TIDA-020075 USB2ANY 测试设置

从产品页面安装 *USB2ANY Explorer* 软件后，将 USB2ANY 器件连接到计算机并打开 USB2ANY Explorer。该软件会自动检测器件并进行连接。如果连接失败，请按左上角的 *Open Device* 按钮。如果软件请求更新器件固件，请按照屏幕上的说明立即更新固件。

按照以下步骤设置 SPI 通信以与 DRV3901 配合使用：

1. 点击 *Select Interfaces*，选择 SPI，然后关闭该菜单。
2. 点击 *Debug* 旁边的 *SPI* 按钮。如果软件出现故障且未显示 *SPI* 按钮，请点击 *Activity logging* 之间的区域，如图 4-6 所示。

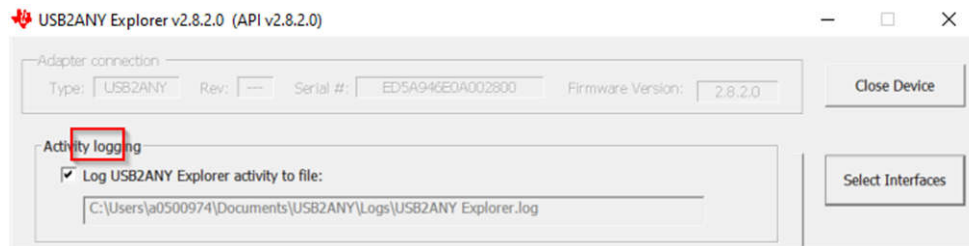


图 4-6. TIDA-020075 USB2ANY Explorer 测试设置 1

3. 进行以下设置：
  - 时钟极性：低电平无效
  - 时钟相位：后沿
  - CS 极性：低电平有效
  - 位方向：MSB 优先
  - 长度：8 位
  - 比特率：1000KHz
  - CS 类型：每个数据包
  - 在 *Write data* 框中键入三个字节，右侧的框会自动设置为 3 个字节。



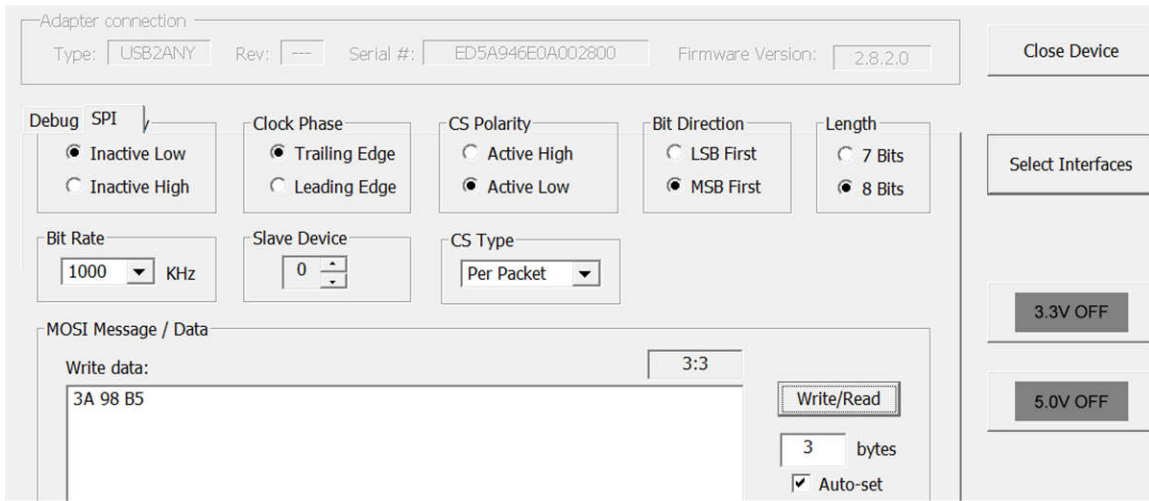


图 4-7. TIDA-020075 USB2ANY Explorer 测试设置 2

此时，USB2ANY 器件配置为与 DRV3901 芯片通信。

#### 4.4 测试结果

当测试设置就绪时，写入部署命令 3C 84 D8，触发热熔丝（仅在使用实际热熔丝时），并且可以在示波器上获取触发波形。图 4-8 展示了测试结果。该芯片应部署约 2ms，电流限制为 1.2A，符合预期。



图 4-8. TIDA-020075 测试结果

## 5 设计和文档支持

### 5.1 设计文件

#### 5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-020075](#) 中的设计文件。

#### 5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-020075](#) 中的设计文件。

#### 5.1.3 PCB 布局建议

必须根据完整 PCB 的布局和平面图来完成热熔丝驱动器模块的 PCB 布局。

1. 不组装元件 R1。
  - 当不需要防反二极管 D1 时，可以在此处安装一个电阻器。
2. 改用  $0\ \Omega$  电阻器作为 L1、L2、L3 和 L4。

##### 5.1.3.1 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-020075](#) 中的设计文件

### 5.2 工具与软件

#### 工具

[USB2ANY](#) USB2ANY 接口适配器

#### 软件

[SLVC695](#) USB2ANY Explorer 软件

### 5.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[DRV3901-Q1 适用于电动汽车热熔丝的单通道爆管驱动器数据表](#)

### 5.4 支持资源

**TI E2E™ 中文支持论坛** 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

### 5.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 6 作者简介

**BING ZOU** 是德州仪器 (TI) BMS 器件的系统工程师，在中国上海工作。

## 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、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。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司