

## Design Guide: TIDA-010939

# 电动汽车供电设备前端控制器参考设计



## 说明

本参考设计是一款电动汽车供电设备 (EVSE) 前端控制器，在电动汽车充电过程中用作中央通信模块。该设计支持交流及多种全球直流充电标准，包括联合充电系统 (CCS)、中国国标/推荐标准 (GB/T) 以及日本电动汽车快速充电标准 (CHAdeMO)。使用器件型号 [AM62L-EVSE-DEV-EVM](#) 订购此参考设计。

## 资源

<a href="#">TIDA-010939</a>	设计文件夹
<a href="#">TMDS62LEVM、MSPM0-SDK</a>	工具文件夹
<a href="#">AM62L-PROCESSOR-SDK</a>	工具文件夹
<a href="#">MSPM0G3507、AM62L、TLV1805</a>	产品文件夹
<a href="#">TS12A4515、TPS281C100、DRV8220</a>	产品文件夹
<a href="#">THVD2429、TRSF3221E</a>	产品文件夹
<a href="#">TCAN1044A-Q1、TPL7407LA、TLV9151</a>	产品文件夹
<a href="#">TLV7011、SN74LVC1G17</a>	产品文件夹

请咨询 TI E2E™ 支持专家

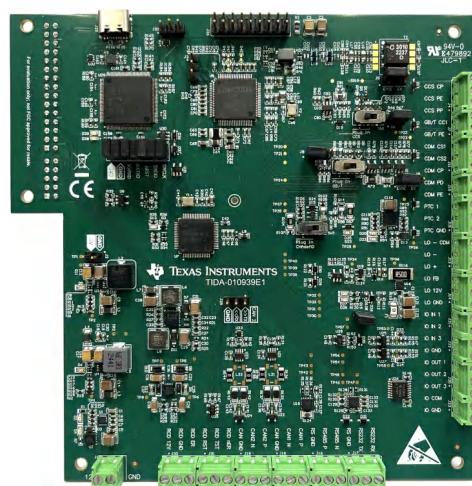
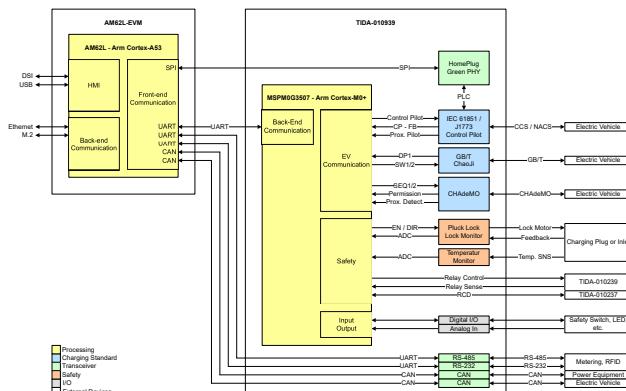


## 特性

- 符合 J1772 和国际电工委员会 (IEC) 61851 标准的控制引导 - 全面支持交流充电控制信号
- 电力线通信 (PLC) - 符合 ISO 15118 标准的高级通信
- 继电器控制和安全功能 - 包括集成式温度监测
- 多种通信接口 - 支持控制器局域网 (CAN)、RS-485、RS-232 和以太网，用于控制电源转换单元、外部计量器件、外设和网络
- 显示人机界面 (HMI) 支持 - AM62L-EVM 上用于 HMI 集成的显示串行接口 (DSI) 连接器

## 应用

- 电动汽车充电站 HMI 模块
- 交流充电 (桩) 站



## 1 系统说明

电动汽车充电站是复杂的系统，需要多个元件无缝协作才能安全地为电动汽车 (EV) 充电。当车辆和充电站（也称为电动汽车供电设备 (EVSE)）连接后，充电过程开始。此时会进行通信握手，以确保车辆和充电站兼容并准备好充电。

在直流快速充电的情况下，车辆会持续向充电站传输所需的电压电平和电流限制。电源模块必须进行监测并动态调整，它们负责将电网中的交流电 (AC) 转换为电动汽车电池充电所需的直流电 (DC)。

要计算充电费用，必须通过能量计准确测量充电过程中使用的电量。由于充电费用通常取决于实时电力价格，因此需要与后端系统（例如充电站管理系统）建立可靠的连接。这种连接通常通过以太网或无线网络建立，不仅提供最新的定价，还提供用户身份验证和安全的支付处理。

许多现代化充电站都采用了带触摸控制功能的集成显示器，不仅提供整洁且响应灵敏的用户界面，还可在不同地点打造统一的外观和体验，使用户更容易识别并信任充电基础设施。

中央控制单元 (EVSE 前端控制器) 负责连接电动汽车充电和协调交互所需的所有子系统，本设计对此进行了演示。

### 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

特性	TIDA-010939   AM62L EVM
主 CPU	AM62L <sup>(1)</sup>
前端控制器	MSPM0
电源	10.8V – 13.2V，最大 5A
充电接口	IEC 61851   SAE J1772   ISO 15118   GB/T 18487 <sup>(2)</sup>   GB/T 20234 <sup>2</sup> <sup>(2)</sup>   CHAdeMO <sup>(2)</sup>
通信	2 个 CAN   2 个 × 1000Base-T <sup>(1)</sup> 1 个 RS-232   1 个 × RS-485
输入和输出	2 个数字输入（可耐受 24V 电压），1 个 0V – 12V 模拟输入 3 个数字输出（低侧开关）
温度输入	2 个温度传感器输入
显示支持	1 个带 MIPI DSI 的显示器 <sup>(1)</sup>
可选连接	Wi-Fi®、Bluetooth® 至 M.2 <sup>(1)</sup>

(1) 在 AM62L-EVM 上。

(2) 目前仅支持硬件。

## 2 系统概述

TIDA-010939 参考设计是 AM62L 的 TI-EVSE 开发平台的一部分，代表采用开源软件栈的交流和直流充电站的通用充电控制器。完整的平台由三个独立部分组成：AM62L-EVM、TIDA-010939 和 TIDA-010239。

AM62L-EVM 作为主 CPU，在 Linux® 上运行 EVerest 开源软件充电软件栈，负责处理与电动汽车之间的数字通信。此外，EVM 支持以太网和无线连接，分别用于与后端或充电站点管理系统进行通信。如果需要，EVM 还可用于支持 HMI 显示器。

TIDA-010939 充当前端控制器，基于 MSPM0 微控制器。该设计控制和电动汽车进行的模拟握手以及一些安全功能，例如锁定充电插头和监测内部高压触点温度等。MSP 通过一种串行通信协议通用异步接收器/发送器 (UART) 与 AM62L 进行通信。

添加 TIDA-010239 以包含交流充电器。本参考设计使用具有备用电源的隔离式交流/直流电源（适用于电网中断时）完善了该平台。TIDA-010239 包含高压接触器和驱动器，用于将电动汽车连接到电网。此外，TIDA-010239 还检测继电器是否焊接。

充电控制器的主要功能是将充电所需的所有系统连接在一起，并处理这些系统与电动汽车之间的通信。与电动汽车之间的通信始终通过模拟握手完成。具体要求因不同的充电标准而异。TIDA-010939 提供的电路支持以下标准：联合充电系统 1 和 2 (CCS1 CCS2)、北美充电标准 (NACS)、中国国标/推荐标准 (GB/T) 以及日本电动汽车快速充电标准 (CHAdeMO)。

除了模拟握手外，直流充电还需要第二种高级通信。在这种情况下，并非电动汽车的车载充电器 (OBC) 而是 EVSE 用作充电器，并且需检测需要哪个电压水平和电流限制才能安全为电动汽车电池充电。用于 CCS1、CCS2 和 NACS 的 ISO15118 标准规定了通过将 HomePlug Green PHY (HPGP) 作为物理层进行的电力线通信，而 GB/T 和 CHAdeMO 使用 CAN 进行此类通信。因此，TIDA-010939 包括 HPGP 和一个专用 CAN 收发器。由于处理器处理数字通信，这两个元件都连接到 AM62L。

充电标准要求的其他安全功能要么包含在 TIDA-010939 中，要么可以通过外部 TIDA 参考设计添加。板载安全功能包括对充电电缆中的触点进行温度监测，还包括用于控制电动锁定机构的电路，该机构旨在防止在充电周期内移除电缆。TIDA-010939 还包括用于外部剩余电流检测 (RCD) 器件的连接，由 TIDA-010237 提供。为了能够连接更多器件进行测试（例如安全开关）或者控制状态 LED，TIDA-010939 支持两个数字输入（可耐受 24V 电压）、一个模拟输入 (0V - 12V) 和三个数字输出（低侧开关）。

为了实现与能量计和电源模块等外设的通信，TIDA-010939 支持适用于 RS-485、RS-232 和 CAN 的收发器。

## 2.1 方框图

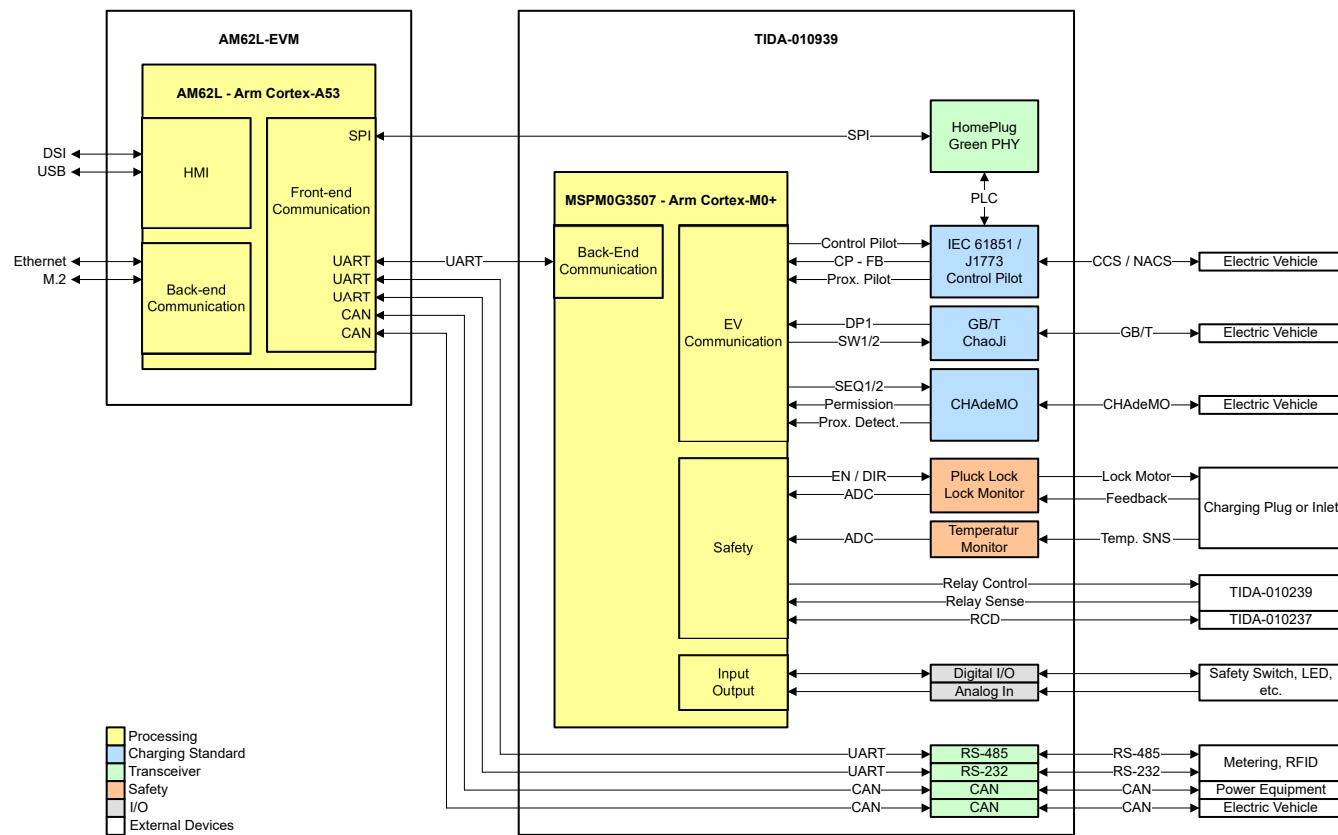


图 2-1. TIDA-010939 方框图

## 2.2 设计注意事项

### 2.2.1 控制引导

控制引导 (CP) 实现电动汽车和充电站之间的基本通信。因此，充电站产生一个  $\pm 12V$ 、 $1kHz$  脉宽调制 (PWM) 信号。此信号的占空比用于将 EVSE 的电流能力传输到电动汽车，或用于指示需要通过 HPGP 实现高级通信协议。

另一侧的电动汽车使用不同的负载电阻加载 CP 信号，导致 CP 线路上出现压降。根据电压电平，电动汽车会指示充电准备就绪等不同状态并可由 EVSE 检测这些状态。

该控制引导信号由 IEC 61851、SAE J1772 和 GB/T 18487 标准使用。

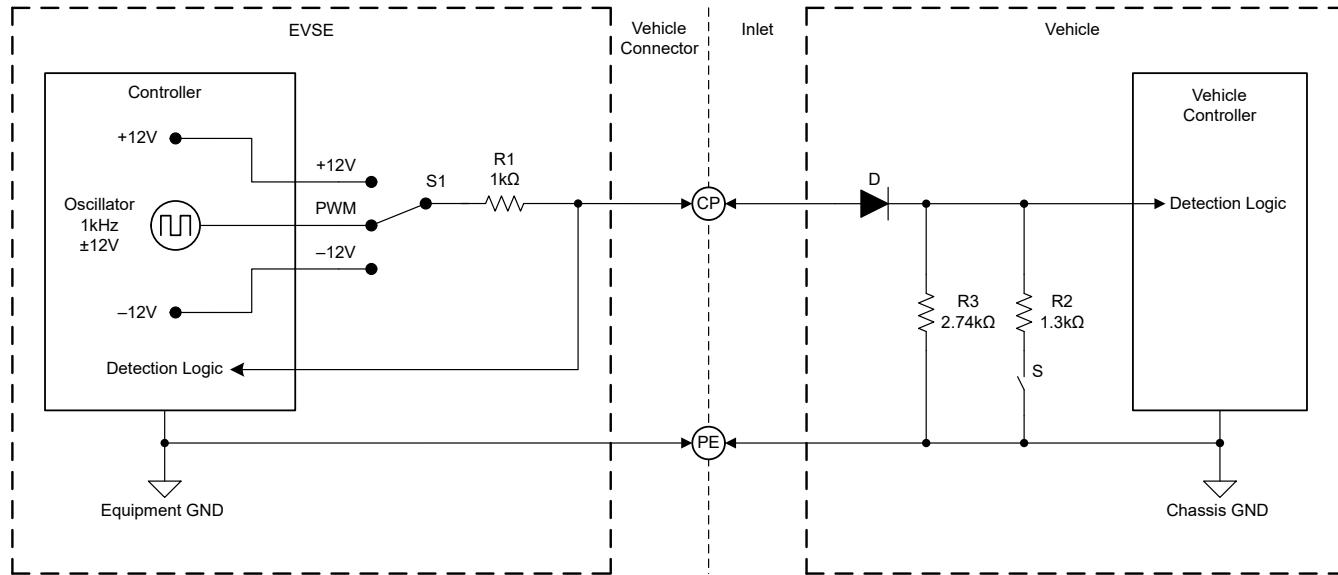


图 2-2. 典型的控制引导电路

### 2.2.1.1 信号

表 2-1. 控制引导信号

名称	MSP 引脚	功能	说明
MSP_PWM_CP	PB10 (62)	PWM	控制引导，直流，1kHz PWM 信号
MSP_ADC_CP	PA27(31)	ADC	反馈信号，读取 CP 电压电平
MSP_ADC_PP	PA25(26)	ADC	接近检测

### 2.2.1.2 占空比

引导信号的占空比表示在交流充电期间 EVSE 能够向车辆提供的电流限制；然后，车辆可以在充电电路中使用高达该值的电流。此额定电流主要由 EVSE 中的机电元件确定，例如导体、继电器、接触器和服务连接。

占空比和电流之间的关系由两个不同的公式定义，具体取决于指定的电流范围；对于 6A 至 51A 的工作电流 ( $10\% \leqslant \text{占空比} \leqslant 85\%$ )，请参阅方程式 1。

$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{Amps}}{0.6} \quad (1)$$

方程式 2 适用于 51A 至 80A 范围内 ( $85\% < \text{占空比} \leqslant 96\%$ ) 的更大工作电流。

$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{Amps}}{2.5} + 64 \quad (2)$$

如果需要数字通信，则占空比必须设置为 5%（仅在 IEC 61851 和 SAE J1772 标准中）。

表 2-2. 车辆控制引导占空比解释说明

可用线路电流 (A)	EVSE 提供的标称占空比
数字通信用于控制非车载直流充电器或传输车载充电器的可用线路电流。	5%
5	8.3%
15	25%
30	50%
40	66.6%
65	90%
80	96%

在此设计中，PWM 由 MSPM0 微控制器上的计时器模块生成。对于交流充电器，电流额定值通常可在固件中设置为一个永久值，因为电流额定值与外部硬件紧密耦合。

### 2.2.1.3 信号状态

EVSE 连接和协商通过车辆的各种 PWM 信号状态和负载电阻进行。[表 2-3](#) 突出显示了这些状态。

**表 2-3. 引导信号状态参数**

状态	引导高电压	引导低电压	频率	电阻	说明
状态 A	12V	不适用	DC	不适用	电动汽车未连接
状态 B1	9V	不适用	DC	2.74kΩ	电动汽车已连接，EVSE 未准备好供电
状态 B2	9V	-12V	1kHz	2.74kΩ	电动汽车已连接，EVSE 准备好供电
状态 C	6V	-12V	1kHz	882Ω	电动汽车充电
状态 D	3V	-12V	1kHz	246Ω	电动汽车正在充电，需要通风
状态 E	0V	0V	不适用	-	误差
状态 F	不适用	-12V	不适用	-	未知错误

状态 A、B 和 C 是核心功能并定义了正常运行。EVSE 通常在最初上电后执行多项自检，然后进入状态 A。准备就绪时，正常连接过程遵循以下几个步骤：

1. 状态 A : EVSE 在引导线上施加 12V 电压。连接插头时，信号会传输至车辆。
2. 状态 B1 : 连接插头后，车辆在引导线上施加 2.74kΩ 负载，使电压降低至 9V。
3. 状态 B2 : EVSE 变为状态 B2，在该状态下，EVSE 将启用 PWM，从而向车辆发出信号，表明车辆可以汲取多少电流。EVSE 还会关闭继电器，从而为车辆供电。
4. 状态 C : 车辆开始吸收功率并切换到 882Ω 负载，这会将电压降至 6V，从而向 EVSE 发出充电已开始的信号。

即使已充满电，大多数车辆在状态 C 下仍会持续消耗少量功率，因此充电过程通过拔下电缆结束，这会将电压恢复到 12V。EVSE 会测量此过程，同时关闭继电器并返回状态 A。

EVSE 也可以检测其他错误，例如车辆中缺少二极管或连接不当，并通过切断电源来进行错误处理。

### 2.2.1.4 控制引导信号电路

图 2-3 展示了控制引导子系统的完整原理图。

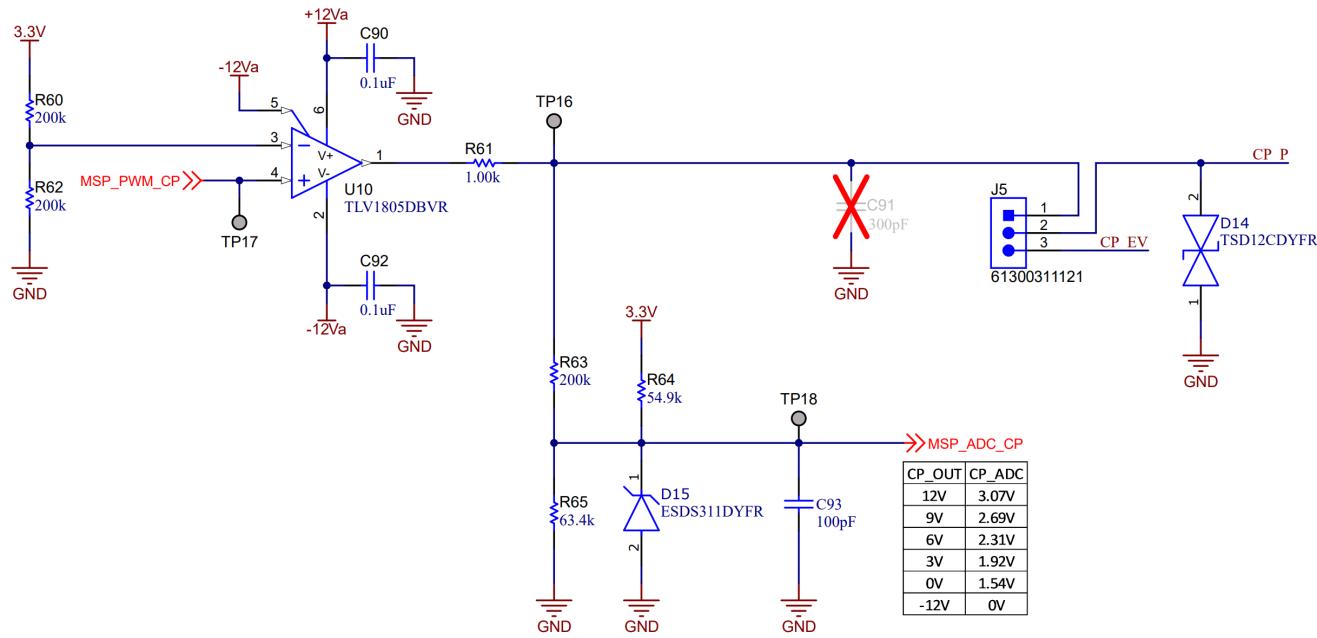


图 2-3. 控制引导信号发生器电路

双极  $\pm 12V$  控制引导信号需要沿着几米长的电缆传输并通过一个负载电阻。因此，根据 SAE J1772 规格，放大器必须具有最小  $\pm 12mA$  的灌电流和拉电流，且上升时间和下降时间小于  $2 \mu s$ 。

为了适应这些参数，选择了具有宽输入范围和合理功率输出的放大器。TLV1805 器件具有  $\pm 18V$  的额定电压，超过  $100mA$  的高输出灌电流和拉电流峰值电流，因此非常适合该应用。此外，虽然大多数 EVSE 不需要汽车认证，但如果需要此功能，可以选择 TLV1805-Q1 器件的 Q1 级版本。放大电路是 TLV1805 器件的简单轨到轨输出配置，并通过 MCU I/O 驱动正输入。

引导放大器的输出也会馈送到简单的分压器中，以便 MCU 可以在运行期间测量电压并检测车辆的负载电阻。为了考虑电阻容差、电缆电阻、接地漂移、底盘电阻、有源附件器件（空调、后除雾器等）等变量或其他可能使这些值发生变化的因素，SAE J1772 标准建议遵循表 2-4 所示的边界电压。

表 2-4. 控制引导边界电压

状态	最小电压	标称电压	最大电压
状态 B	8V	9V	10V
状态 C	5V	6V	7V
状态 D	2V	3V	4V

### 2.2.1.5 电动汽车仿真电路

TIDA-010939 设计中包括用于模拟电动汽车行为的电路。跳线 J5 用于选择配置：短接引脚 1 - 2 将电路板设置为 EVSE 模式，由此这会将控制引导信号发生器连接到螺纹端子 J4 处的 CP 输出端。短接引脚 2 - 3 可将电路设置为电动汽车模式，这会将电动汽车仿真电路连接到 CP 输出端。

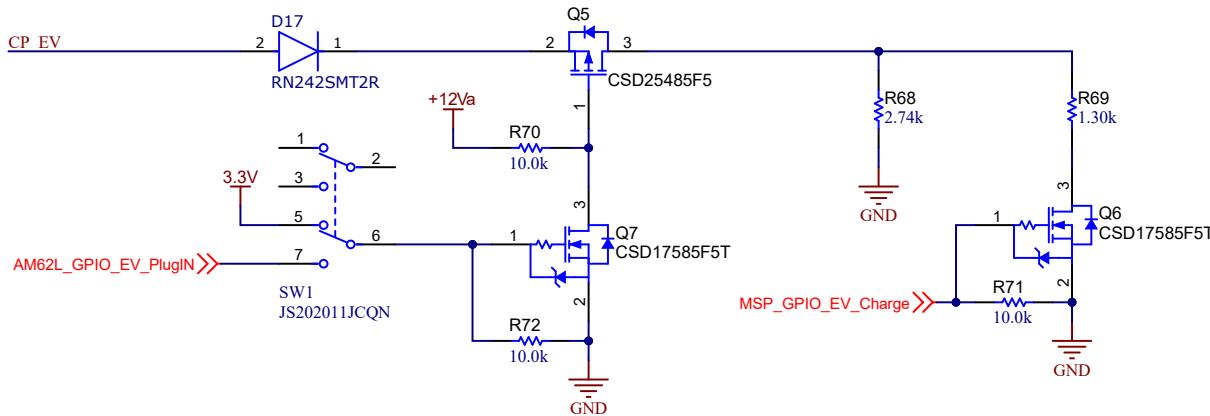


图 2-4. CCS 电动汽车仿真电路

在电动汽车模式下，SW1 通过使用  $2.74\text{k}\Omega$  电阻器为 CP 线路加载来模拟电动汽车连接，这对应于状态 B - 电动汽车已连接。要转换到状态 C - 电动汽车充电，微控制器输出 MSP\_GPIO\_EV\_Charge 必须置为高电平，从而将电阻器 R69 ( $1.3\text{k}\Omega$ ) 与 CP 线路并联。

二极管 D17 仅允许 PWM 信号的正半部分通过，向 EVSE 指示存在有效负载。

### 2.2.2 HomePlug Green PHY - 电力线通信

虽然基本信号传输由控制引导元件处理，我们仍制订出 DIN 70121 和 ISO 15118 标准（道路车辆 - 车网通信接口），以实现电动汽车和充电站之间进行更高级的通信。该标准引入了安全通信和高级数据交换，包括加密和身份验证机制。

ISO 15118 实现了充电参数传输的标准化，如在充电过程中不断更新的电压电平、电流限制和充电状态等。此外，该标准还实现了即插即充等高级功能，支持无用户交互支付或车网 (V2G) 双向电力传输。

ISO 15118 第 3 部分将 HPGP 标准定义为这类种通信的物理层。HPGP 标准是一种电力线通信 (PLC) 架构，在 2MHz 至 30MHz 频带运行，支持高达 10Mbps 数据速率。TIDA-010939 支持 Lumissil® IS32CG5317 HPGP 器件。该 PHY 通过串行外设接口 (SPI) 连接到 AM62L。

有关最新信息和支持，请联系 Lumissil：

- <https://www.lumissil.com>
- <https://cbu-support.lumissil.com/>

### 2.2.2.1 HomePlug Green PHY 电路

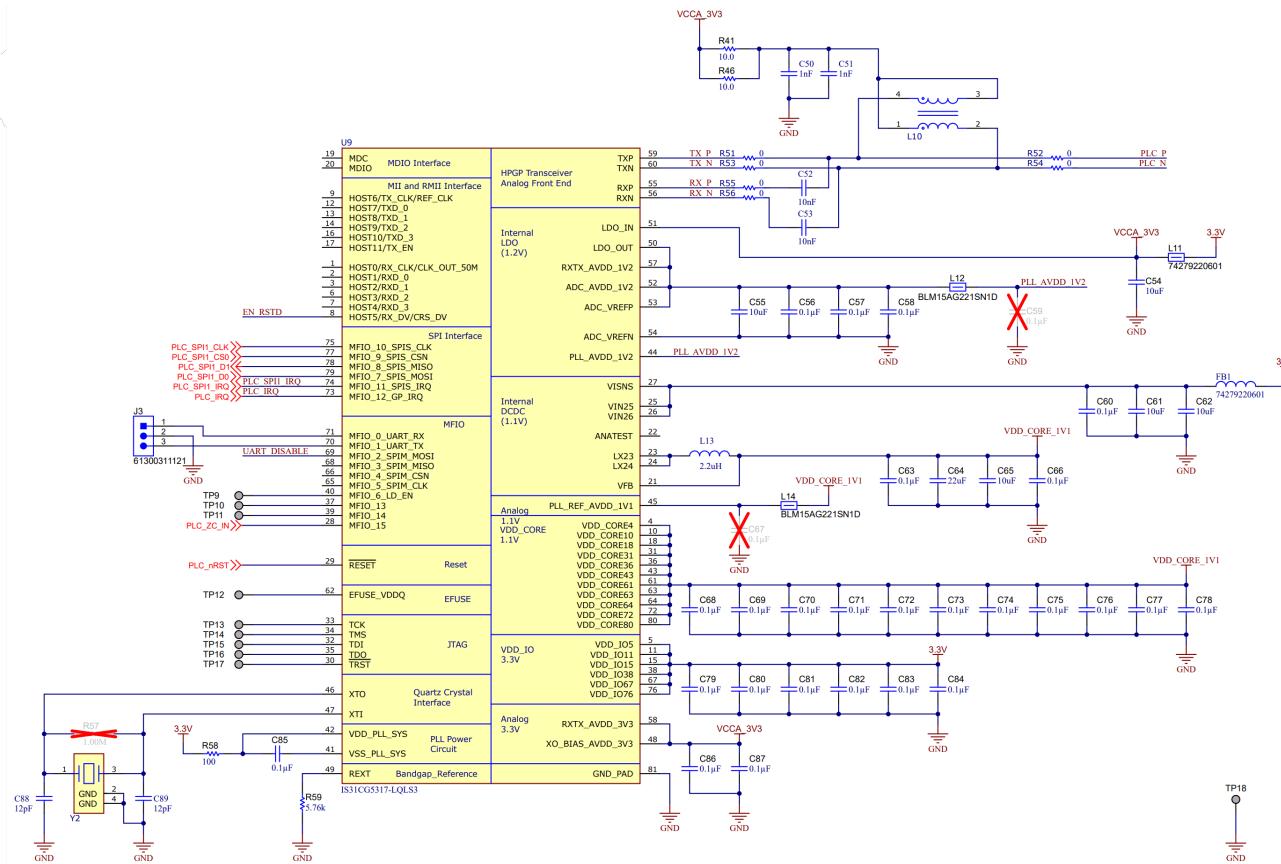


图 2-5. HomePlug Green PHY 电路

### 2.2.3 接近引导

与内燃机车辆相比，电动汽车经常在长时间停车时充电。这增加了驾驶员忘记车辆仍然连接到充电站的可能性。

为了解决此问题，使用接近引导（PP）防止电动汽车在仍物理连接到充电器的情况下驾驶离开。这是通过使用连接到保护性接地（PE）引脚的电阻器构成电路来实现的，让车辆能够检测是否存在充电电缆。

在 1 类或 NACS 与 2 类连接器之间，PP 信号的实现方式不同。1 类充电电缆通常永久连接到充电站，而 2 类电缆通常两端都带有插头，因此可拆卸。如果是可更换的 2 类电缆，PP 还具有第二项功能。PP 通过使用不同的电阻值来指示电缆的电流能力。这可以防止系统超过电缆的额定容量，从而避免过热和潜在的安全隐患。

### 2.2.3.1 1类和 NACS

1 类插头配有一个带机械杆件的按钮，该杆件可挂入电动汽车插口。要断开插头，必须按下此按钮以激活插头内的开关。这会让插头内的 PP 电阻器从  $150\Omega$  变为  $480\Omega$ ，向电动汽车和 EVSE 发出信号以停止充电会话并断开触点与高压的连接。

**EVSE** 对接近检测电路的监测对于交流充电是可选的，但对于直流充电是必需的。在这种情况下，仅在 **EVSE** 验证 **PP** 以及开关 (**S3**) 在工作后才允许充电。

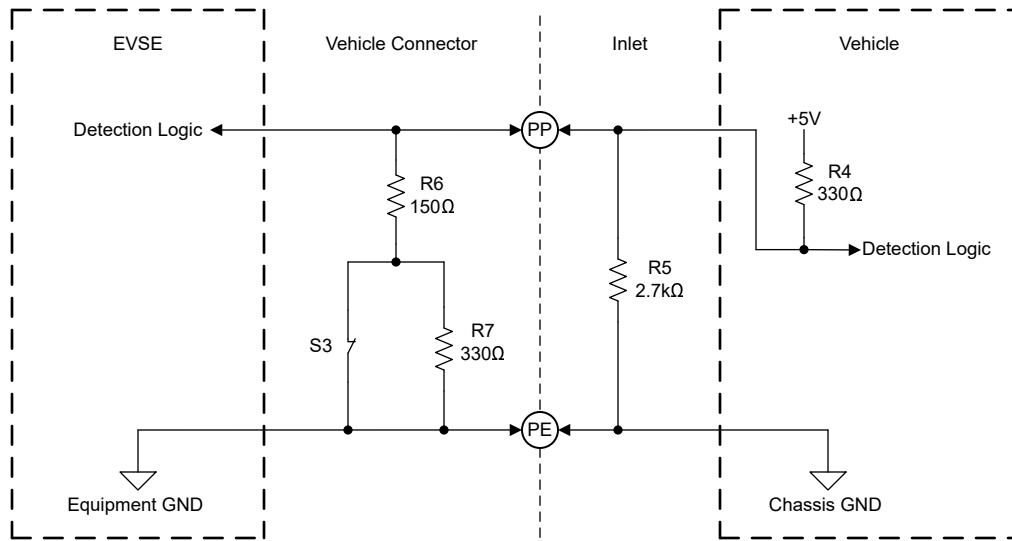


图 2-6. 1 类接近引导

表 2-5. 1 类接近引导状态

状态	连接器电阻值	电压
电动汽车未连接	-	0V
电动汽车已连接 - 锁存 (S3) 按下	480Ω	2.76V
电动汽车已连接 - 锁存 (S3) 释放	150Ω	1.51V

### 2.2.3.2.2 类

如果使用可拆卸电缆组件，临近接触检测可同时执行两项任务。首先，进行接近检测，其次进行电缆组件的电流能力编码。由插头内电阻器的阻值 ( $R_C$ ) 定义，电动汽车和 EVSE 可以读出电流能力并在超过电缆的电流能力时中断电流供应。对于固定电缆组件，只有电动汽车监测 PP，因为 EVSE 知道电缆的电流能力。

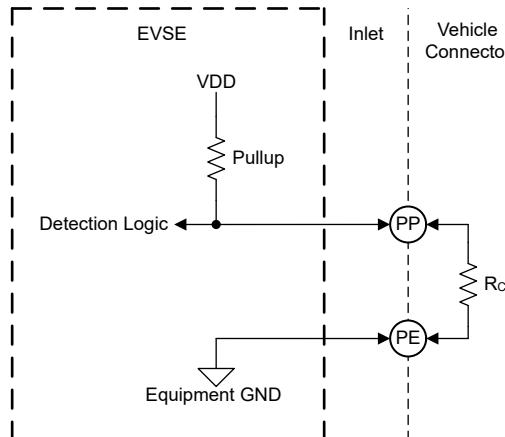


图 2-7. 2 类接近引导

表 2-6. 2 类 - 车辆连接器和插头的电阻器编码

电流能力	R <sub>C</sub> 电阻值	MSP ADC 电压 (上拉电阻 = 1kΩ)
13A	1.5kΩ	1.98V
20A	680Ω	1.34V
32A	220Ω	0.595V
63A	100Ω	0.3V

### 2.2.3.3 接近检测电路

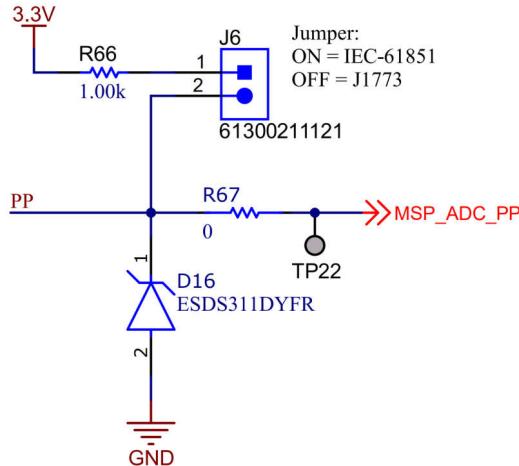


图 2-8. 接近检测电路

PP 信号直接路由到 MSPM0 的 ADC 输入端。为了保护微控制器，在 PP 连接器输入端布置了一个 ESD 保护二极管。跳线 J6 可用于将上拉电阻连接到信号，以便使用 2 类插头工作。使用 1 类插头时，PP 信号改为由电动汽车上拉。

### 2.2.4 GB/T - ChaoJi

中国国家充电标准 GB/T 是一套涵盖交流和直流快速充电的标准。CCS 使用单个插头进行交流和直流充电，它用两个额外的引脚扩展交流连接器来传输直流电力；而 GB/T 使用两个单独的连接器进行交流和直流充电。交流充电与 [节 2.2.1](#) 和 [节 2.2.3](#) 中介绍的控制引导和连接确认电路类似。

对于直流充电，GB/T 使用两类信号。充电确认 1 (CC1) 和充电确认 2 (CC2) 表示车辆已连接并且充电准备就绪，EVSE 和电动汽车之间的模拟通信通过 CC1 线路进行。S+ 和 S- 构成一个差分对，用于高级 CAN 通信，可交换所需的电压、电流和状态消息等参数。

EVSE 在检测点 1 (DP1) 监测 CC1 线路，其中特定电压电平与不同的充电状态相关。GB/T 和 ChaoJi 标准（也称为 CHAdeMO 3.0）之间的确切电压电平有所不同。

#### 2.2.4.1 信号

表 2-7. GB/T - ChaoJi 信号

名称	MSP 引脚	功能	说明
MSP_GPIO_GBT_S0	PB25 (27)	GPIO	S0 使能信号
MSP_GPIO_GBT_S1	PB24 (23)	GPIO	S1 使能信号
MSP_ADC_GBT_DP1	PA26 (30)	ADC	检测点 1 (DP1) 处的 CC1 反馈

### 2.2.4.2 GB/T

在充电过程开始之前，EVSE 通过测量检测点 1 (DP1) 处的电压来确定车辆插头是否完全插入车辆插座。如果插头完全连接，则 DP1 处的电压约为 4V。在此状态下，必须启用锁定机构并且可以启动数字通信以继续完成充电过程。

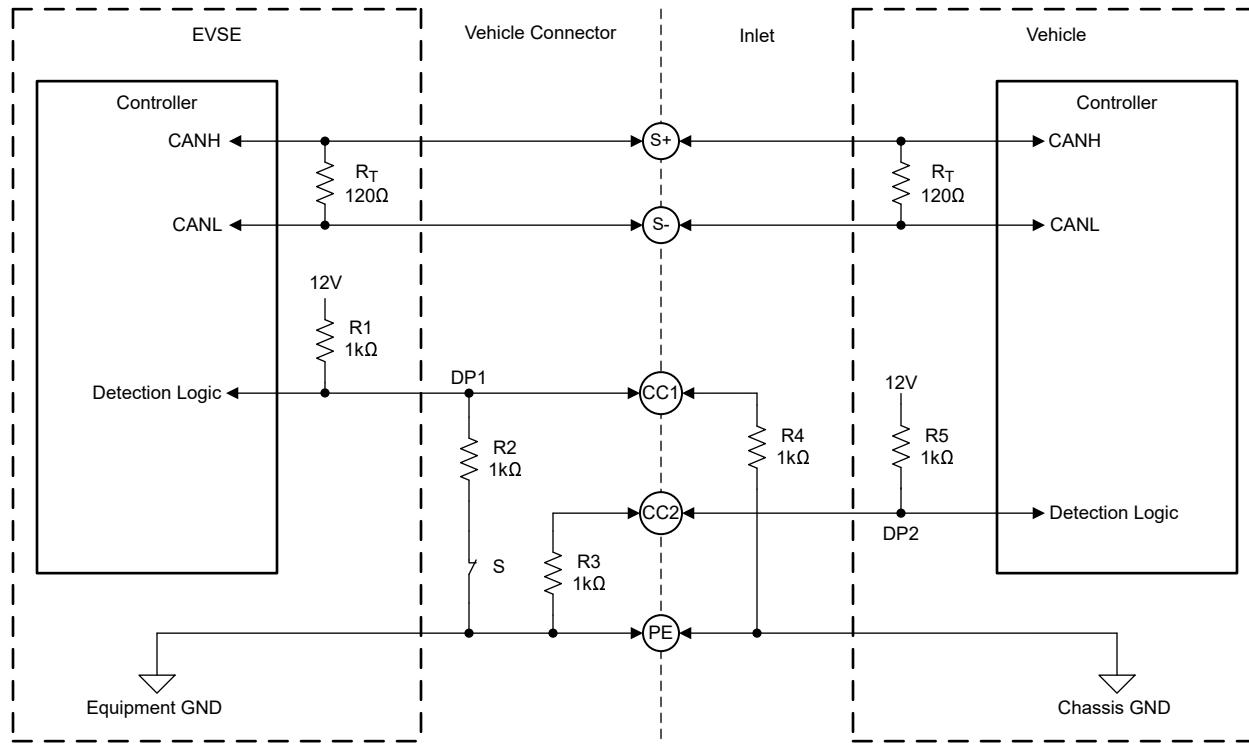


图 2-9. GB/T 电路

在充电期间，EVSE 持续监控 DP1 电压。如果连接从完全连接变为不可靠，或者充电插头内的常闭开关 S 打开，则 DP1 电压会上升到大约 6V。在这种情况下，EVSE 必须立即停止充电过程。

表 2-8. GB/T 信号状态参数

状态	电压
EV 断开连接	6V (5.2V - 6.8V)
按下锁存 - 电动汽车未连接	12V (11.4 - 12.6)
连接了 EV	4V (3.2V - 4.8V)

### 2.2.4.3 ChaoJi 标准

ChaoJi 标准扩展了 GB/T 信号电路，同时保持向后兼容。在 EVSE 一侧，ChaoJi 标准向 CC1 线路添加电阻器 R1' 以及开关 S0 和 S1。

S0 是可选的且仅在充电授权（例如在 RFID 卡刷卡后）后才闭合以启用 CC1 信号。S0 开关的用途是在不使用连接器时降低 12V CC1 电源和保护性接地 (PE) 之间出现短路的风险。S1 由充电器控制，以便在充电就绪信号发送时连接 R1'。

在车辆连接器内部，开关 S3 和电阻器 R2 是可选元件，用于在耦合器配接之前验证 EVSE 上 PE 和 CC1 线路的完整性。

满足充电条件后，EVSE 闭合 S1 开关，连接 R1' 以指示就绪状态。EVSE 和电动汽车都持续监控检测点 1 和 2 处的电压，以确定是否允许充电或者是否出现异常状态。如果在充电期间发生紧急情况，则必须打开 S1、S2 或这两个开关以立即停止充电过程。

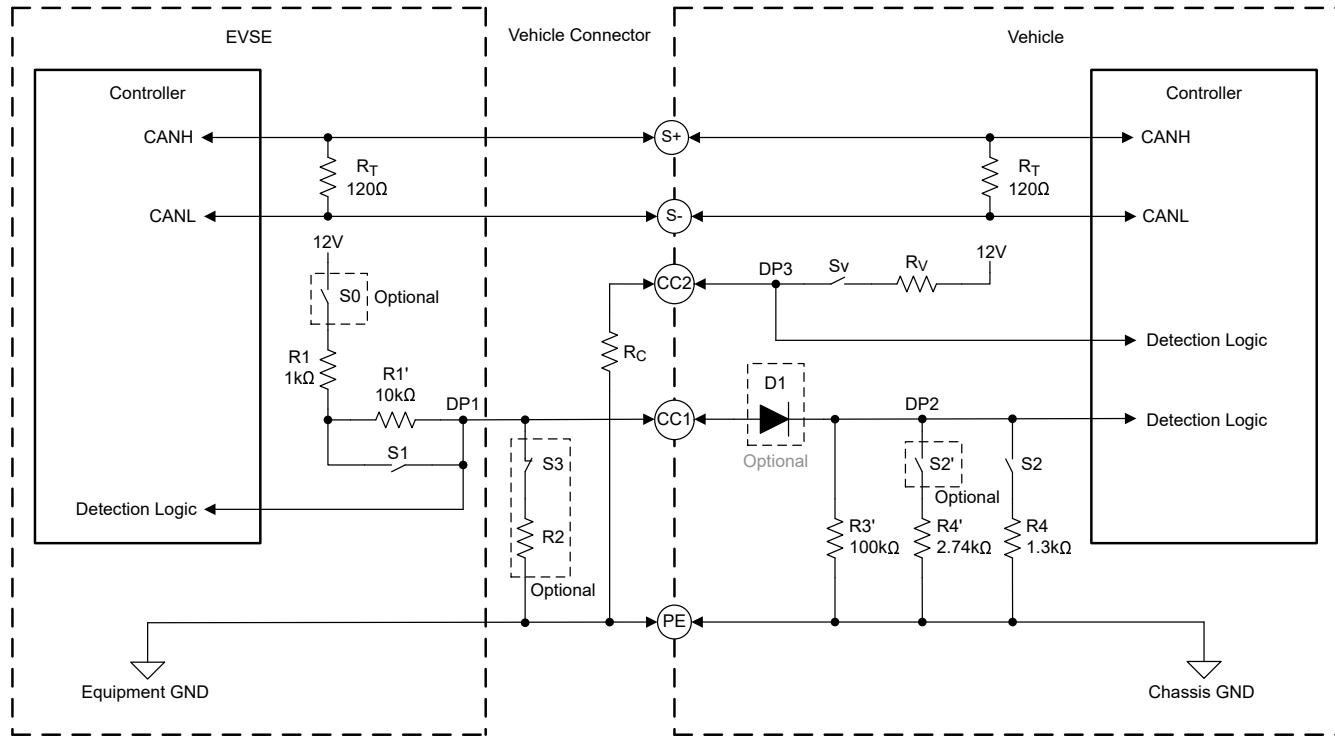


图 2-10. ChaoJi 电路

表 2-9. ChaoJi 信号状态参数

状态	S0	S1	S2	S2'	CC1 电压
状态 A <sup>(1)</sup> - 电动汽车未连接	1	0	不适用	不适用	12V
状态 A' - 电动汽车已连接	1	0	0	0	10.8V
状态 B <sup>(2)</sup> - 电动汽车唤醒	1	0	0	1	2.34V
状态 C <sup>(3)</sup> - 充电器就绪	1	1	0	1	8.73V
状态 D <sup>(4)</sup> - 车辆就绪	1	1	1	1	5.6V
状态 E <sup>(5)</sup> - 紧急停止	1	0	1	1	0.88V
	1	1	0	1	6.78V

- (1) 状态 A：操作员授权充电器运行时，开关 S0 闭合。这将启用 CC1 线路上的 12V 电源。
- (2) 状态 B：授权后，充电器通过测量检测点 1 处的电压来验证车辆插头是否完全插入插座。DP1 电压为大约 2.34V 表示连接完成且安全。
- (3) 状态 C：充电器准备就绪后，S1 闭合并通过 CAN 建立高级通信。在进行任何电力传输之前，车辆必须使用电子锁定装置锁定插头。
- (4) 状态 D：车辆就绪可以接受电力时，车辆充电控制器闭合 S2 开关。如果充电器和车辆都准备就绪并且在充电过程中，DP1 处的电压约为 5.6V。
- (5) 状态 E：在电力传输阶段，任一方都可以触发紧急关断。充电器打开 S1 以向车辆发出立即停止充电的信号，而车辆打开 S2 以启动紧急关断。通过在打开 S1 或 S2 开关之前，经由 CAN 分别发送充电中止消息，执行常规关断。

#### 2.2.4.4 原理图

CC1 线路传送 12V 信号，最大电流为 12mA 且受到  $1\text{k}\Omega$  电阻器 R73 限制。对于 ChaoJi，需要使用另外两个开关 (S0 和 S1)。为了完成该操作，使用了 TS12A4515 器件。TS12A4515 是一款单刀单掷 (SPST)、低压单电源 CMOS 模拟开关，具有极低的开关导通状态电阻。该器件可以处理轨到轨模拟信号，并可持续提供  $\pm 20\text{mA}$  电流，该电流超过此应用中所需的最大 12mA 电流。TS12A4515 为常闭 (NC) 型开关，因此如果电路符合 GB/T 18487 标准，则无需控制信号。需要控制时，数字输入可提供 0.8V 至 2.4V 逻辑阈值，与 MSPM0 微控制器兼容。如果首选常开 (NO) 开关，则可以改用 TS12A4514。

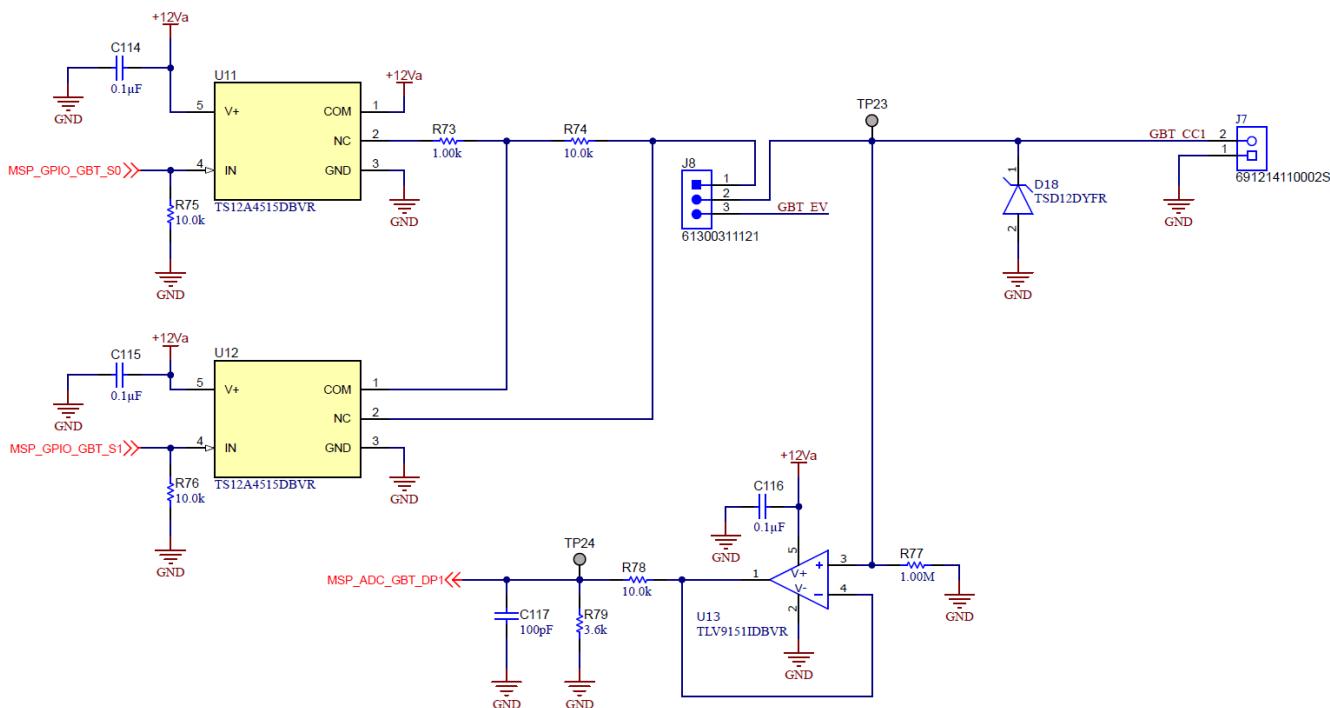


图 2-11. GB/T - ChaoJi 电路

为了监控检测点 1，CC1 信号连接到非反相放大器。由于 ChaoJi 在 CC1 线路上使用高阻值电阻器 ( $100k\Omega$ )，因此检测电路必须提供高阻抗输入，以避免加载信号并导致电压读数不精确。这通过 TLV9151 放大器实现。

TLV9151 隶属于 TLV915x 系列 (TLV9151、TLV9152 和 TLV9154) 16V 通用运算放大器。这些器件具有出色的直流精度和交流性能，包括轨到轨输出、低失调电压 (典型值为  $\pm 125\mu V$ )、低温漂 (典型值为  $\pm 0.3\mu V/\text{°C}$ ) 和 4.5MHz 带宽。该器件的输入电压范围超过电源轨和轨到轨输出，因此能够在使用 12V 电源时正确测量 12V CC1 信号，是理想的选择。

为了将放大器输出调整到 ADC 有效输入范围 (0V – 3.3V)，使用了由 R78 和 R79 组成的分压器。如果 S0 打开且未连接电动汽车，R77 提供一条高阻抗接地路径，防止 CC1 信号悬空。

#### 2.2.4.5 电动汽车仿真

TIDA-010939 设计中包括用于模拟电动汽车行为的电路。通过跳线 J8 选择配置：短接引脚 1 – 2 可将电路板设置为 EVSE 模式，这会将 CC1 信号连接到螺纹端子 J7 处的输出端。短接引脚 2 – 3 可将电路板设置为电动汽车模式，这会将电动汽车仿真电路连接到 CC1 输出端子。

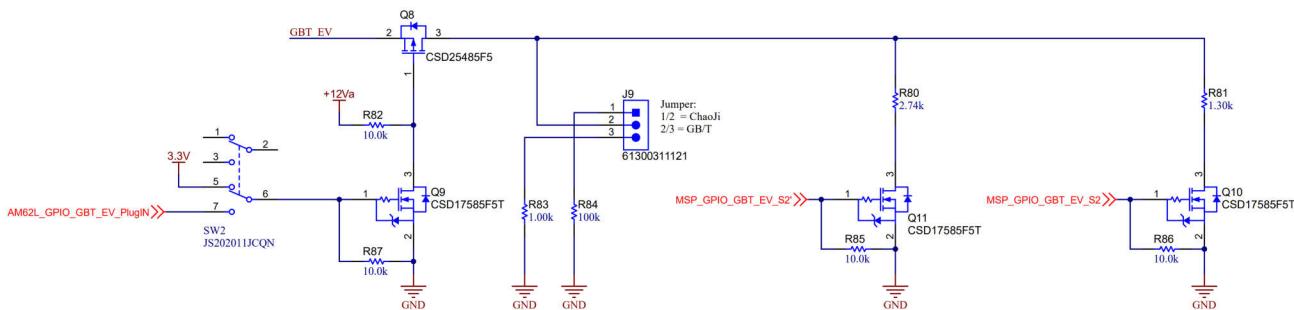


图 2-12. GB/T - ChaoJi 电动汽车仿真电路

开关 SW2 通过加载 CC1 信号模拟电动汽车连接。负载电阻通过跳线 J9 设置：短接引脚 1 – 2 可配置测试 GB/T 18487 运行的测试电路并施加  $1k\Omega$  电阻器。根据 ChaoJi 运行时的要求，将引脚 2 – 3 短接连接一个  $100k\Omega$  电阻器。对于 ChaoJi，电动汽车控制两个额外的开关 (S2 和 S2')。如果需要，MSPMO 微控制器可以对上述条件进行仿真，从而允许测试不同的充电状态。

## 2.2.5 CHAdeMO

CHAdeMO 标准由日本电动汽车快速充电器协会于 2010 年制定，主要在日本应用，支持电动汽车直流快速充电。CHAdeMO 连接器提供九个电气触点：两个用于高压直流电力传输（DC+ 和 DC-），其余触点用于控制信号。

充电站与车辆之间的通信依赖于模拟和数字信号。模拟控制信号包括充电序列 1 和 2（CS1、CS2）、车辆充电授权（VCP）和接近引导（PP）。EVSE 使用 CS1 和 CS2 指示充电状态，例如充电准备就绪。VCP 让车辆能够指示充电站启动或终止充电过程。接近引导检测是否存在车辆。

系统依赖 CAN 接口进行高级通信，例如最大电池电压、请求的电流或充电器的输出能力等。

### 2.2.5.1 信号

表 2-10. CHAdeMO 信号

名称	MSP 引脚	功能	说明
MSP_GPIO_CdM_d1	PB20 (19)	GPIO	D1 使能信号
MSP_GPIO_CdM_d2	PA22 (18)	GPIO	D2 使能信号
MSP_GPIO_CdM_j	PB18 (15)	GPIO	车辆充电授权
MSP_GPIO_CdM_PD	PB17 (14)	GPIO	接近检测

### 2.2.5.2 标准

当用户将 CHAdeMO 插头连接到电动汽车时，充电过程开始。成功连接后，接近引导（PP）信号将向 EVSE 指示车辆是否存在。

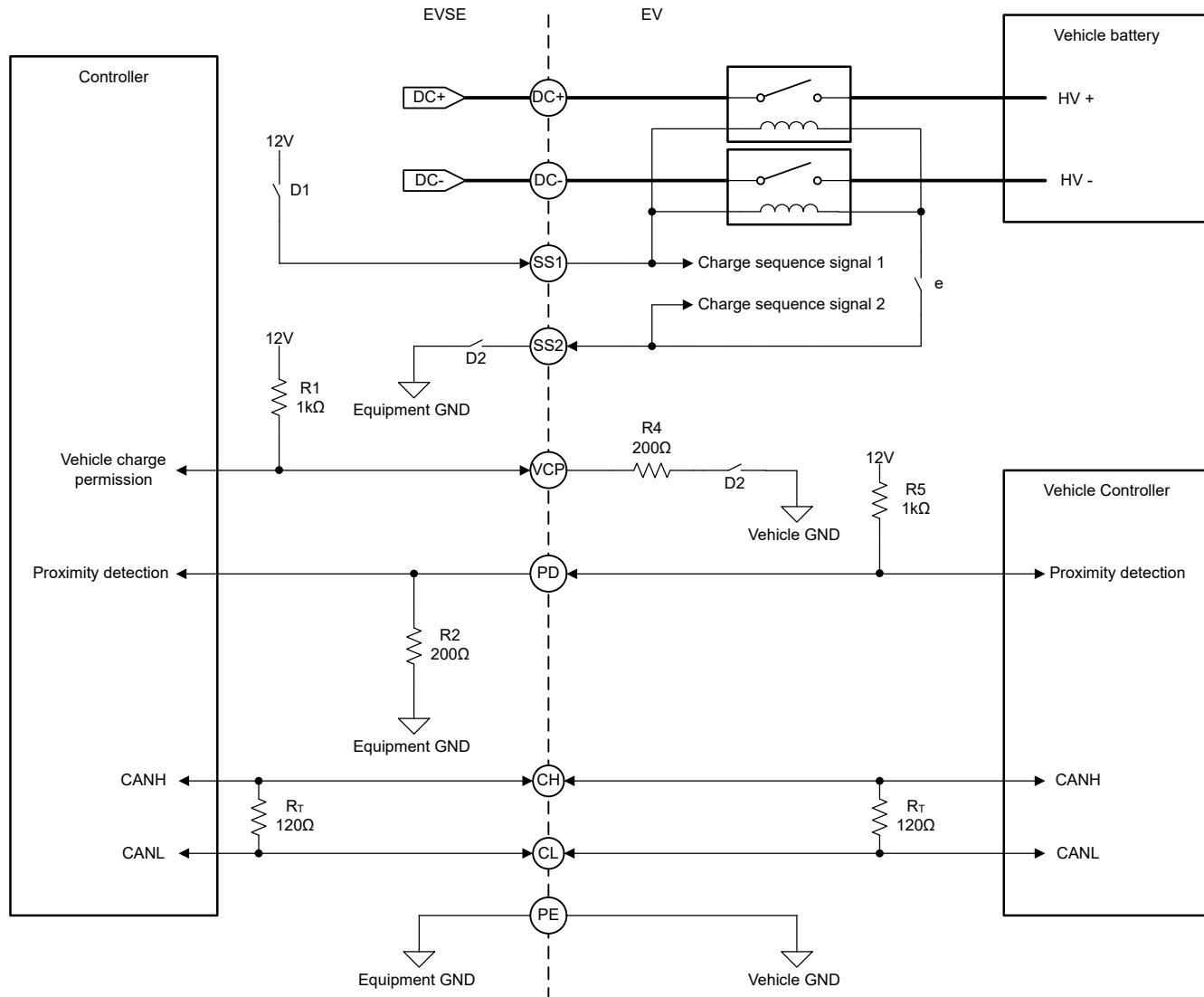


图 2-13. CHAdE MO 电路

在 CHAdE MO 协议中，EVSE 不仅提供高压电源，还提供为电动汽车的内部高压接触器供电所需的 12V 辅助电压。这通过两个控制信号来实现：充电序列 1 (CS1) 和充电序列 2 (CS2)。CS1 充当高侧开关，为电动汽车的继电器线圈提供 12V 电压。CS2 用作低侧开关，通过将电路接地来闭合电路。电动汽车只能在两个信号都激活后闭合高压继电器。

为响应检测到的 PP 信号，EVSE 通过启用高侧开关 (D1) 激活 CS1，并向 CS1 线路施加 12V 电压。电动汽车检测到此电压并识别 EVSE 已准备就绪。

此时，电动汽车通过 CAN 接口启动数字通信。电动汽车传输当前电池电压、最大电压等参数以及和其他充电要求。如果 EVSE 支持这些参数，EVSE 会提供一个功能列表进行响应，例如最大电压和电流。在验证兼容性后，电动汽车通过将车辆充电授权 (VCP) 信号拉低来指示准备就绪。

在启用高压电力传输之前，EVSE 必须先锁定连接器以防在负载下断开连接。之后，EVSE 通过闭合低侧开关 (D2) 来激活 CS2，使电动汽车能够闭合内部高压接触器。

然后，电动汽车闭合接触器，电力传输开始进行。在整个充电过程中，电动汽车持续监控电池参数，例如电压、温度和充电状态。所需的充电电流和电压每 100ms 通过 CAN 向 EVSE 传输一次。

在电池达到目标电压或以其他方式完成充电后，电动汽车通过 CAN 发送停止充电命令。电动汽车打开高压接触器，EVSE 停用 CS1 和 CS2，然后释放 VCP 信号，从而安全地结束充电过程。

### 2.2.5.3 原理图

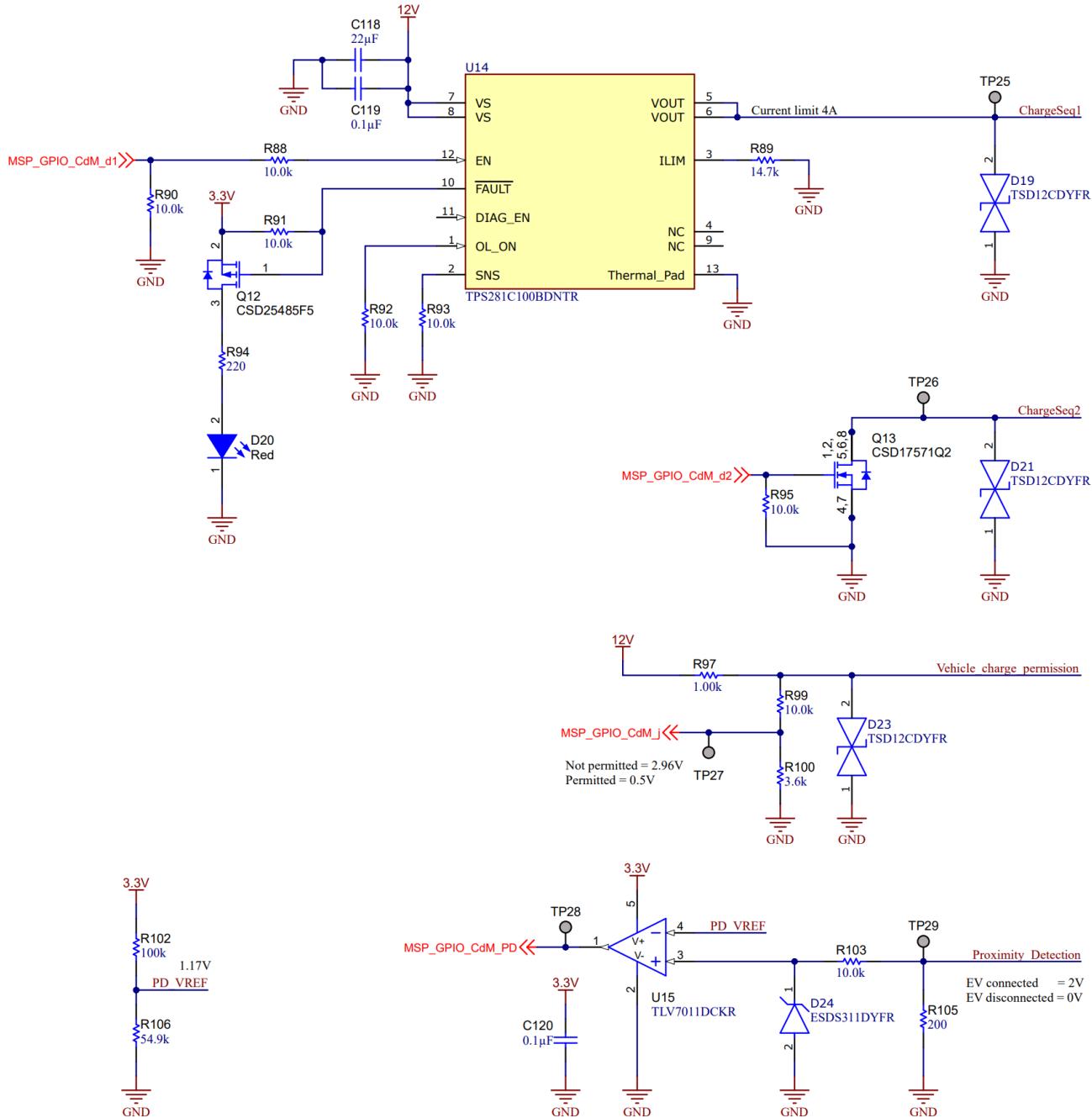


图 2-14. CHAdeMO 电路

#### 2.2.5.3.1 高侧开关 (CS1)

车辆可以使用 EVSE 提供的 12V 辅助电源操作内部高压接触器。因此，CHAdeMO 标准定义了通过 CS1 和 CS2 线路的最大负载电流。

TPS281C100 用于安全地控制 CS1 信号。这款单通道智能高侧开关具有 6V 至 60V 的工作电压范围以及 1A 至 5A 的可调电流限值。此外，该器件还集成了热关断和输出钳位等更多保护功能，可在发生故障事件（如短路）时提高系统稳健性。为了保护电源、PCB 布线、连接器和电动汽车免受过流状况的影响，使用连接到 TPS281C100 ILIM 引脚的 14.7kΩ 电阻器将电流限值设置为最大值 4A（典型值为 3.48A，最小值为 2.6A）。LED (D20) 指示热关断或过流等故障情况，为系统诊断提供视觉反馈。

### 2.2.5.3.2 低侧开关 (CS2)

CS2 低侧开关是使用 CSD17571Q2 实现的，后者是一款 N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET。该器件的额定漏源电压高达 30V，额定栅源电压为  $\pm 20V$ 。该器件具有极低的导通电阻  $20m\Omega$  ( $V_{GS} = 10V$ )，能够最大限度地降低功率转换和负载管理应用中的损耗，同时相对于封装尺寸提供出色的热性能。MOSFET 支持 7.6A 的持续漏极电流，该电流超过 CS1 高侧开关的 4A 电流限值。

### 2.2.5.3.3 接近检测

接近引导 (PP) 信号让 EVSE 能够检测 CHAdeMO 插头何时连接到车辆。在 EVSE 一侧，通过  $200\Omega$  电阻器将信号下拉至接地。在电动汽车一侧，PP 信号通过  $1k\Omega$  电阻器连接到 12V 电压。当插头插入车辆插口时，这两个电阻器构成一个分压器，并且 EVSE 一侧的信号升高至约 2V。由于 MSPM0 微控制器的正向输入阈值电压为  $2.3V$  ( $0.7 \times V_{DD}$ )，因此该电压不足以记录有效的高电平信号。为了解决该问题，会将 PP 信号馈送到 TLV7011 比较器。这款低功耗单通道比较器具有轨到轨输入、内部迟滞并在嘈杂或缓慢变化的输入条件下表现出稳健的行为。使用电阻分压器将开关阈值设置为  $1.17V$ ，这可以可靠地检测插头连接状态。

### 2.2.5.3.4 车辆充电授权

电动汽车使用 VCP 信号指示充电就绪。根据 CHAdeMO 规范，它是由 EVSE 提供的 12V 信号，通过  $1k\Omega$  电阻器进行限流。允许充电时，电动汽车通过  $200\Omega$  电阻器将 VCP 信号接地从而将该信号拉低，产生大约  $2V$  的压降。不允许充电时，信号保持在  $12V$ 。为了使信号与 MSPM0 微控制器的电压输入阈值兼容，VCP 线路通过一个分压器连接到 MSP。这会将信号电压降低 4 倍：

- 不允许充电时： $12V$  降低至大约  $3V$
- 允许充电时： $2V$  降低至大约  $0.5V$

这些产生的电平完全处于 MSPM0 的有效数字输入范围 ( $V_{DD} = 3.3V$ ) 内，其中逻辑高电平定义为  $\geq 2V$ ，逻辑低电平定义为  $\leq 0.8V$ 。

### 2.2.5.4 电动汽车仿真

TIDA-010939 设计包含根据 CHAdeMO 充电标准模拟电动汽车行为的电路。

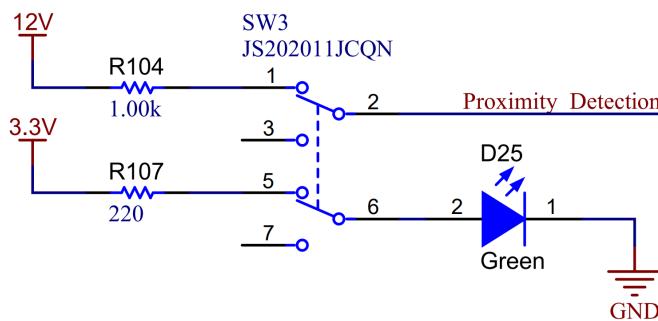


图 2-15. CHAdeMO 电动汽车仿真接近检测

开关 SW3 通过  $1k\Omega$  电阻器将  $12V$  电压连接到接近检测信号，以启用接近检测。LED D25 指示电动汽车已连接状态。

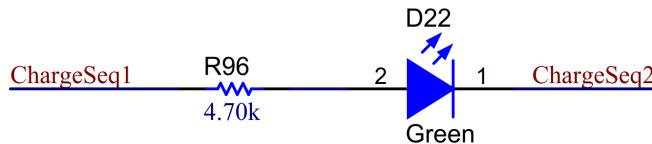


图 2-16. CHAdeMO 电动汽车仿真 CS1、CS2

为了显示 CS1 和 CS2 是否处于活动状态，两条线路之间连接了 LED D22。

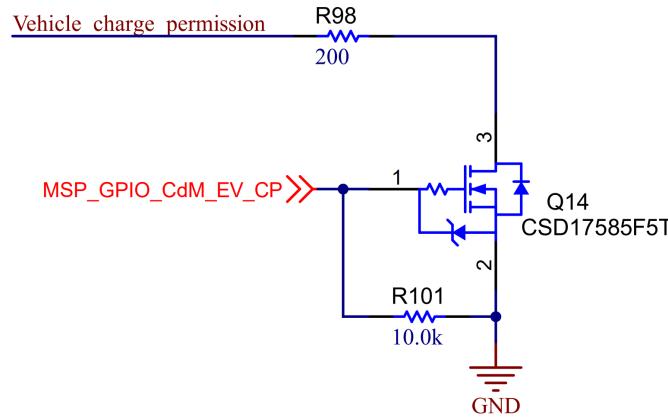


图 2-17. CHAdeMO 电动汽车仿真车辆充电授权

车辆充电授权信号可由 MSPM0 控制，以指示允许充电。将 CdM\_EV\_CP 控制信号设置为逻辑高电平会将  $200\Omega$  负载电阻连接到车辆充电授权线路。

## 2.2.6 插头锁定

充电插口或插头中包含一个电动锁定机构，用来防止充电周期中可能出现危险电压时拔出电缆，并防止电缆被盗。插头锁定机构制有两种不同类型。

对于 CCS 和 GB/T，锁定机构是一个简单的直流电机，用于驱动锁定销。为确保正常运行，将不同极性的  $12V$  电压施加到直流电机，将销子脚推入插口或从中退出。为了指示锁定执行器的状态，锁定机构提供了反馈电路。

用于 CHAdeMO 的锁定机构包括一个电磁阀而不是直流电机。该电磁阀只能在插头完全与电动汽车配接时激活。为了监测锁定机构的状态，测量电磁阀的电流消耗。仅当反馈信号指示插头已锁定时，才可以启动充电序列。如果反馈信号在充电序列期间中断，则必须中止充电。

对于 CCS1、CCS2 和 NACS，锁定机构位于充电插口内。因此，仅在电动汽车一侧或使用可拆卸电缆组件时才需要控制电路。对于充电标准 GB/T 和 CHAdeMO，锁定机构位于插头中，即使电缆组件永久连接到 EVSE，也需要在 EVSE 上提供控制电路。

### 2.2.6.1 信号

表 2-11. 插头锁定信号

名称	MSP 引脚	功能	说明
MSP_GPIO_PL_nSLEEP	PB26 (28)	GPIO	启用
MSP_GPIO_PL_DIR	PB27 (29)	GPIO	电机 DRV 的方向
MSP_PWM_PL_EN	PA28 (35)	PWM	启用 DRV
MSP_ADC_PL_FB	PA24 (25)	ADC	CCS、GB/T 锁定机构的反馈
MSP_GPIO_PL_CdM_FB	PB22 (21)	GPIO	CHAdeMO 锁定机构的反馈

### 2.2.6.2 原理图

DRV8220DSG 用于控制锁定机构。DRV8220DSG 是一款集成 H 桥电机驱动器，具有四个 N 沟道功率 FET、电荷泵稳压器和保护电路。该器件支持多种控制接口选项：PWM ( IN1、IN2 ) 接口、相位或使能 ( PH/EN ) 或半桥接口，并可提供高达  $1.76A$  的输出电流。该器件具有强大的内部保护功能，如电源欠压锁定 ( UVLO )、输出过流保护 ( OCP ) 和器件过热保护，非常适合该应用。

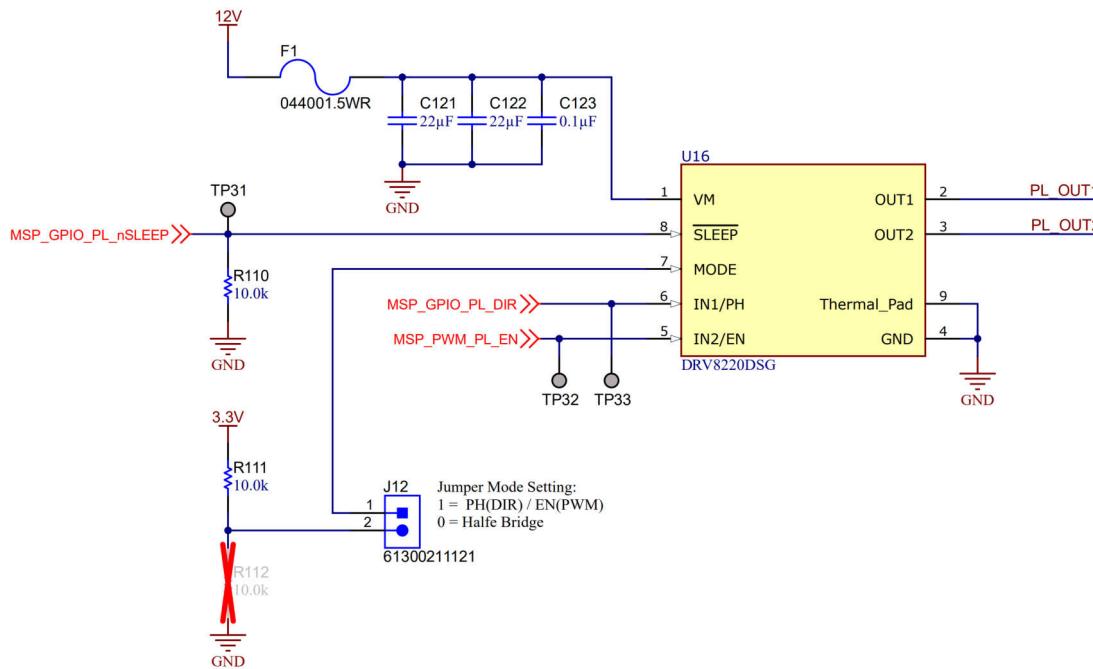


图 2-18. 插头锁定电路

在本设计中，控制接口通过 J13 跳线配置。短接该跳线可通过将模式引脚设置为逻辑高电平来启用相位使能模式。这使得控制器可以在 EN 引脚上使用单个 PWM 发生器外设，而标准 GPIO 引脚使用 PH 引脚控制电机的方向。

不需要方向控制时，可以通过在上电期间使跳线 J13 断开来选择半桥控制模式。此模式允许直接控制每个半桥来支持高侧慢速衰减（或制动），驱动两个独立的负载，或并联输出来提高单个负载的电流能力。

除了控制信号外，还必须启用 DRV8220，方法是通过 MSP\_GPIO\_PL\_nSLEEP 引脚将 nSLEEP 引脚设置为逻辑高电平，以激活输出。

表 2-12. DRV8220 PH/EN 控制模式

nSLEEP	EN	PH	OUT1	OUT2	说明
0	X	X	高阻态	高阻态	低功耗睡眠模式 (H 桥高阻态)
1	0	X	L → 高阻态	L → 高阻态	制动 (低侧慢速衰减) $t_{SLEEP}$ ，然后进入自动睡眠模式 (H 桥高阻态)
1	1	0	L	H	反向 (OUT2 → OUT1)
1	1	1	H	L	正向 (OUT1 → OUT2)

### 2.2.6.3 电机驱动器

不同制造商对锁定执行器的驱动要求有所不同。本设计支持额定电压为 12V 的电机。即使 DRV8220 可提供高达 1.76A 的输出电流，器件仍由 1.5A 输入保险丝提供保护。要控制输出电流的大小，可以调整 PWM 信号的占空比。

为了监测锁定执行器的状态，充电插口或连接器通常提供一种反馈机构。通常，该机构根据锁定状态更改总电阻。通过在该电路中形成分压器，可以通过 MSPM0 微控制器的 ADC 测量状态。

在本参考设计中，电阻器 R108 (1kΩ) 用于在锁定机构的反馈电路上形成分压器。ESD 保护二极管 (D26) 布置在信号输入端，以保护 MSPM0 微控制器。反馈电路引起的压降也使 LED D27 能够指示充电插头是否已锁定。

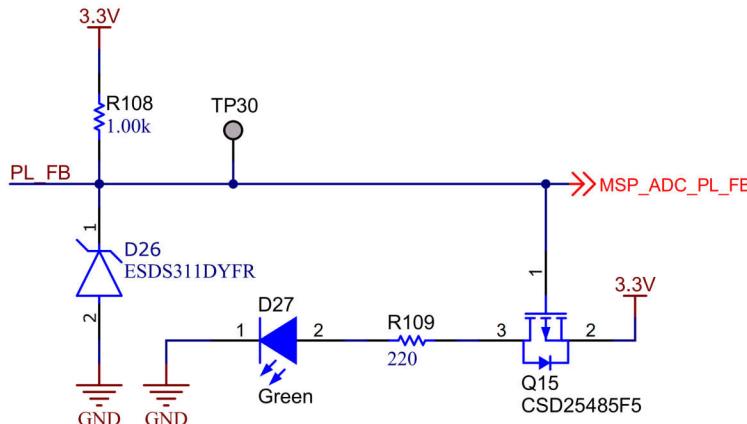


图 2-19. CCS、GBT 插头锁定反馈电路

为了在锁定机构的反馈电路中创建分压器，参考设计中使用了  $1\text{k}\Omega$  电阻器 R108。ESD 保护二极管 D26 布置在信号的输入端，以保护 MSPM0 微控制器。反馈电路引起的压降会启用 LED D27。

#### 2.2.6.4 电磁阀驱动器

电磁阀为非锁存型，如果没有电流驱动电磁阀，则电磁阀恢复为默认的断开状态。因此，电磁阀不需要像基于电机的锁定机构那样的方向控制。

为此，可以通过断开跳线 J12 将 DRV8220 配置为半桥模式。DRV8220 无需额外的外部二极管即可与电磁阀一起使用，因为半桥中的其他 FET 和体二极管会在 PWM 占空比关断期间再循环续流电流。电磁阀应连接到连接器正极端子 J13 的引脚 1 (LO+) 和负极端子 J13 的引脚 3 (LO - CDM)。

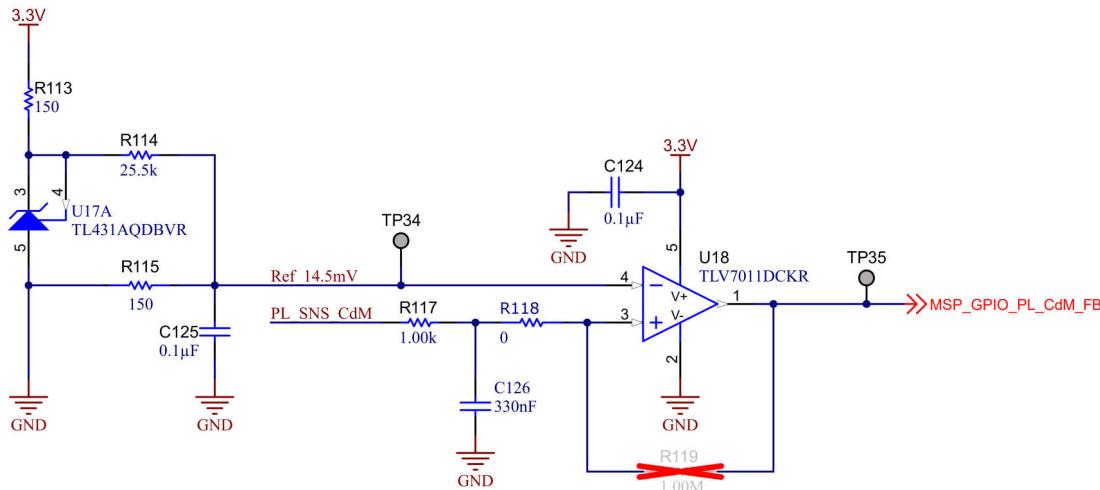


图 2-20. CHAdeMO 插头锁定反馈电路

CHAdeMO 充电插头配备了一个内部开关，该开关仅在插头与插座完全配接时才将电磁阀连接到电源。这样可防止电磁阀在除插头与电动汽车插座配接以外的任何其他状态下激活。

为了验证插头是否锁定在插座，可以监控电磁阀的电流消耗。因此，在 GND 和 LO - CDM 连接器之间添加了一个分流电阻器。一旦电磁阀处于活动状态，电流就会流过分流电阻器，在其上产生一个压降。该压降启用比较器 U18 的输出，将 MSP\_GPIO\_PL\_CdM\_FB 设置为逻辑高电平并启用 LED D28。

比较器的阈值由精密可编程基准 TL431AQ 生成。在此配置中，R113 将阴极电流限制为  $5.5\text{mA}$ 。TL431AQ 器件的输出为  $2495\text{mV}$ ，可通过 R114 和 R115 构成的分压器进一步降低至  $14.6\text{mV}$ 。

分流电阻器的电阻为  $0.5\Omega$ 。这会产生一个相当于  $30\text{mA}$  时基准电压的压降，小于电磁阀的典型电流消耗。

## 2.2.7 温度检测

在大电流充电期间，如果电缆或接触器损坏，则可能出现危险的温度。为防止这种危险发生，充电插头和插口配备了集成式温度传感器。这些传感器通常位于高压触点处，最常用的是铂电阻温度检测器，特别是 PT1000 器件。名称 1000 是指 0°C 下 1000 Ω 传感器的欧姆值。

通过监测这些传感器，可以在超过限值的情况下关断充电周期。充电会话期间的关断温度由电缆组件制造商规定，通常  $t > 90^\circ\text{C}$ ，相当于 PT1000 1347 Ω 的电阻值。为了保持在限值范围内，请尽早将充电电流降低至电缆的最大额定电流。

要了验证传感器的功能，可以在空闲状态下测量两个传感器之间的温差。当充电连接器传感器之间测量的温差超过指定阈值时，温度监测功能的诊断检查可判断故障。

**表 2-13. PT1000 传感器电阻表**

温度	电阻	温度	电阻	温度	电阻
-40°C	842.70 Ω	+10°C	1077.90 Ω	+60°C	1232.40 Ω
-30°C	882.20 Ω	+20°C	1097.40 Ω	+70°C	1270.70 Ω
-20°C	921.60 Ω	+30°C	1116.70 Ω	+80°C	1308.90 Ω
-10°C	1000.00 Ω	+40°C	1155.40 Ω	+90°C	1347.00 Ω
0°C	1039.00 Ω	+50°C	1194.00 Ω	+100°C	1385.00 Ω

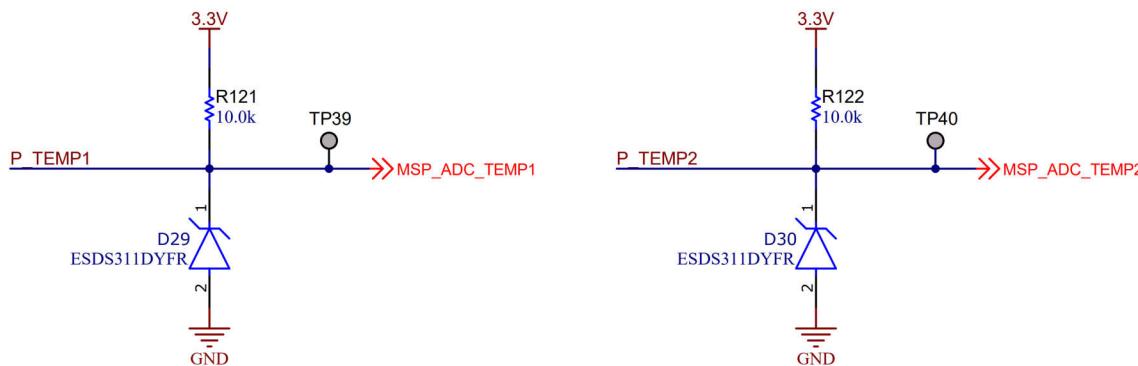
### 2.2.7.1 信号

**表 2-14. 温度检测信号**

名称	MSP 引脚	功能	说明
MSP_ADC_TEMP1	PA15 (8)	ADC	传感器 1
MSP_ADC_TEMP2	PA16 (9)	ADC	传感器 2

### 2.2.7.2 原理图

此温度感应电路使用与正温度系数 (PTC) 热敏电阻串联的电阻器构成分压器，从而产生随温度变化呈线性的输出电压。串联电阻器限制测量电流，防止 PTC 传感器自发热。对于 PT1000 热敏电阻，建议使用 0.1mA 至 1mA 之间典型测量电流，具体取决于制造商。



**图 2-21. 温度检测电路**

分压器的输出端直接连接到 MSPM0 微控制器的 ADC 输入端，无需额外的放大或缓冲。尽管源阻抗较高，但为了仍然可提供精确的测量，可以在软件中配置更长的 ADC 采样时间。采样保持时间决定了在执行数字转换之前对信号进行采样的时间。在此期间，ADC 的内部开关将信号连接到采样保持电容器，让该电容器得以充电。较长的采样时间可确保该电容达到正确的电压电平，即使由高阻抗源驱动也是如此。

由于温度信号变化缓慢且可预测，因此在本应用中不需要快速采样。此外，MSPM0 均值计算功能的硬件可用于进一步提高 ADC 的有效分辨率，从而在无需软件和 CPU 干预的情况下降低噪声并提高精度。

### 2.2.7.3 计算

PT1000 传感器的电阻在 DIN EN 60738-1 中定义。在 0°C – 850°C 的温度范围内，使用方程式 3 设置该电阻。

$$R_{PT} = R_0 \left( 1 + At + Bt^2 \right) \text{ with } R_0 = 1000\Omega \quad (3)$$

温度系数为：

$$A = 3.9083 \times 10^{-3}\text{°C}^{-1} \quad B = -5.775 \times 10^{-7}\text{°C}^{-2}$$

温度可根据以下公式计算：

$$t(R_{PT})^{\circ}\text{C} = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{R_{PT}}{R_0}\right)}}{2B} \quad (4)$$

其中

$$R_{PT} = \frac{(R_{PullUp} \times V_{ADC\_IN})}{(V_{REF} - V_{ADC\_IN})} \quad \text{or} \quad R_{PT} = \frac{(R_{PullUp} \times ADCValue)}{(4095 - V_{ADC\_IN})} \quad (5)$$

其中

$$R_{PullUp} = 10\text{k}\Omega, R_0 = 1\text{k}\Omega, V_{REF} = 3.3\text{V}$$

### 2.2.8 连接

为了与电动汽车充电所需的其他硬件通信，TIDA-010939 支持连接到 AM62L-EVM 的多个收发器。

#### 2.2.8.1 RS-485

THVD2429 是一款具有集成浪涌保护功能的 3V 至 5.5V、20Mbps、半双工 RS-485 收发器。浪涌保护是通过在封装中集成瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管实现的。此功能提高了可靠性，可以更好地抵抗耦合到数据电缆的噪声瞬变，而无需外部保护元件。此系列器件具有宽共模电压范围，是长线缆上的多点应用的理想之选。

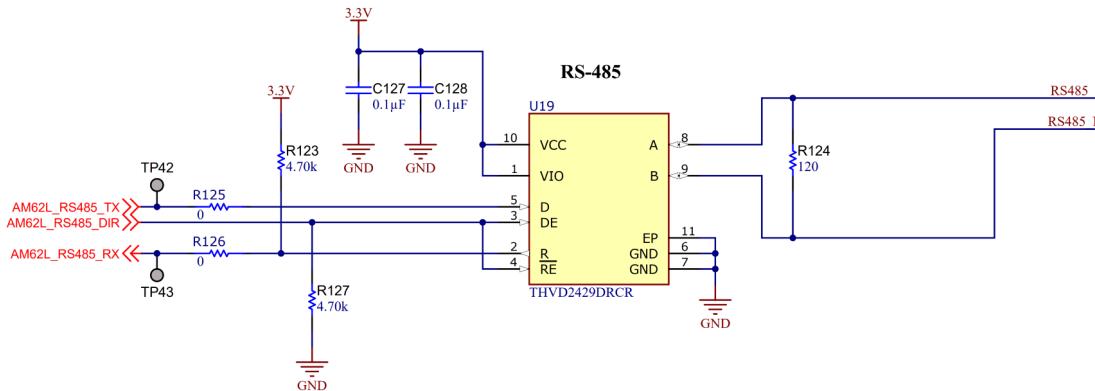


图 2-22. RS-485 电路

#### 2.2.8.2 RS-232

为了正确对接 RS-232 标准，需要一个电压转换系统，用于在电路板上的 3.3V 域与端口的 12V 之间进行转换。

为了方便转换，本设计使用了 TRSF3221E 器件。TRSF3221E 器件能够通过电荷泵系统，仅从 3.3V DVCC 驱动 RS-232 端口上的更高电压信号。TRSF3221E 包含一个线路驱动器、一个线路接收器和一个具有引脚对引脚 (串行端口连接引脚，包括 GND)  $\pm 15\text{kV}$  IEC ESD 保护功能的双电荷泵电路。电荷泵和四个小型外部电容器支持由单个 3V 至 5.5V 电源供电。TRSF3221E 以高达 1Mbit/s 的数据信号传输速率运行，驱动器输出压摆率为  $24\text{V}/\mu\text{s}$  至  $150\text{V}/\mu\text{s}$ 。

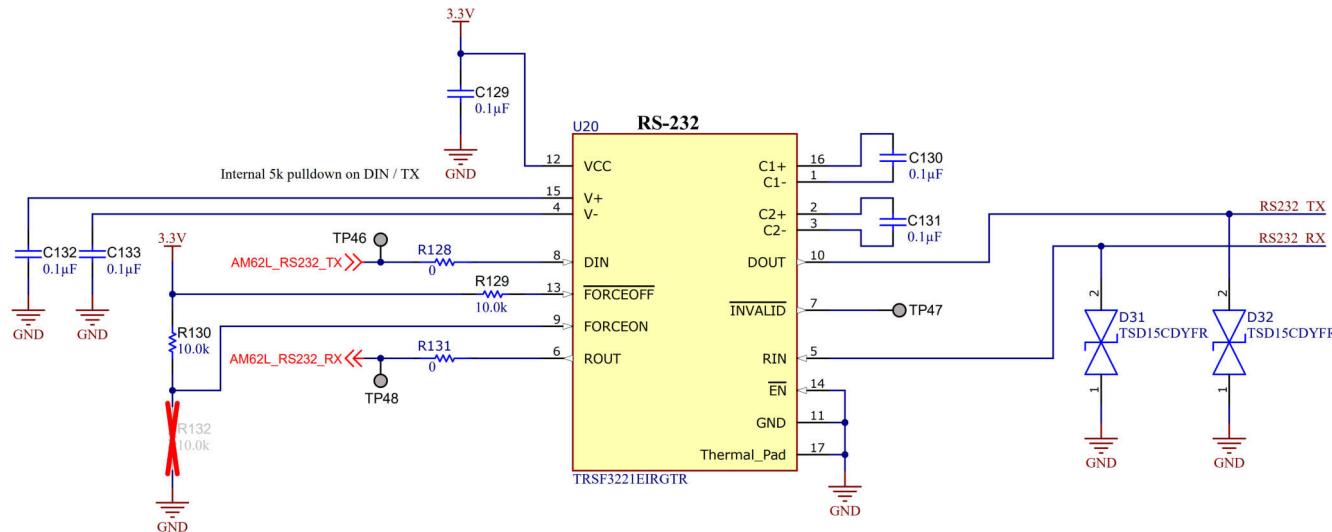


图 2-23. RS-232 电路

### 2.2.8.3 CAN

TIDA-010939 提供两个控制器局域网收发器 TCAN1044A-Q1。该器件是一款高速 CAN 收发器，符合 ISO 11898-2:2016 高速 CAN 规范的物理层要求。此类收发器具有经过认证的电磁兼容性 (EMC)，是传统 CAN 和 CAN FD ( 数据速率高达 5 兆位/秒 (Mbps) ) 网络的理想选择。此外，该收发器还包含热关断 (TSD)、TXD 显性超时 (DTO)、电源欠压检测和  $\pm 58V$  的总线故障保护功能。

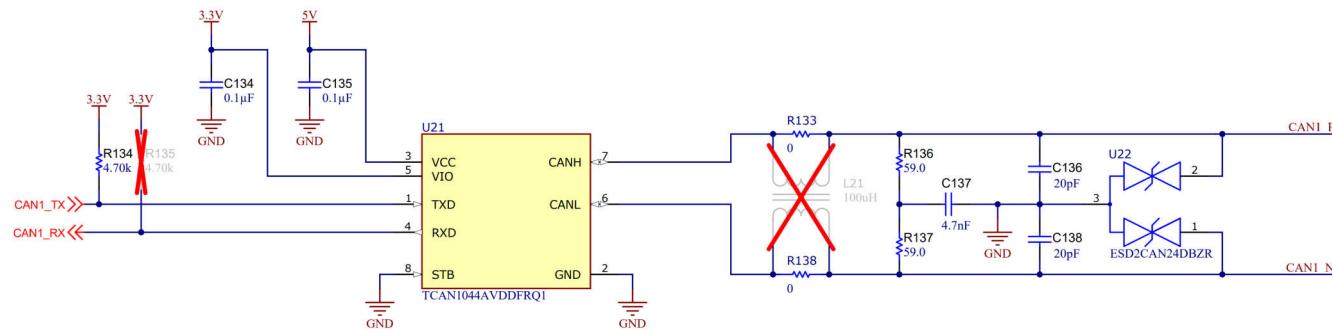


图 2-24. CAN 电路

两个收发器都有采用拆分配置的  $120\Omega$  端接，从而创建一个用于总线上共模信号的低通电阻电容 (RC) 滤波器。这种拆分端接方案既可以滤除总线上收发器引起的共模波动，也可以滤除耦合到总线上的外部噪声引起的共模波动。

充电标准 GB/T 以及 CHAdeMO 将 CAN 定义为在非车载传导式充电器和电动汽车 (EV) 电池管理系统 (BMS) 之间进行数字通信的物理层。这两种协议都使用电动汽车和充电站之间的专用 CAN 连接 (2.0B 版)，并且充电器和车辆都配备了标称电阻为  $120\Omega$  的端接电阻器。根据建议的国家标准 GB/T 27930，通信速率为 250kbps，而 CHAdeMO 使用 500kbps 的默认转换速率。

### 2.2.9 通用输入/输出

TIDA-010939 参考设计提供多个通用输入和输出接口，可用于连接其他硬件。

### 2.2.9.1 数字输入

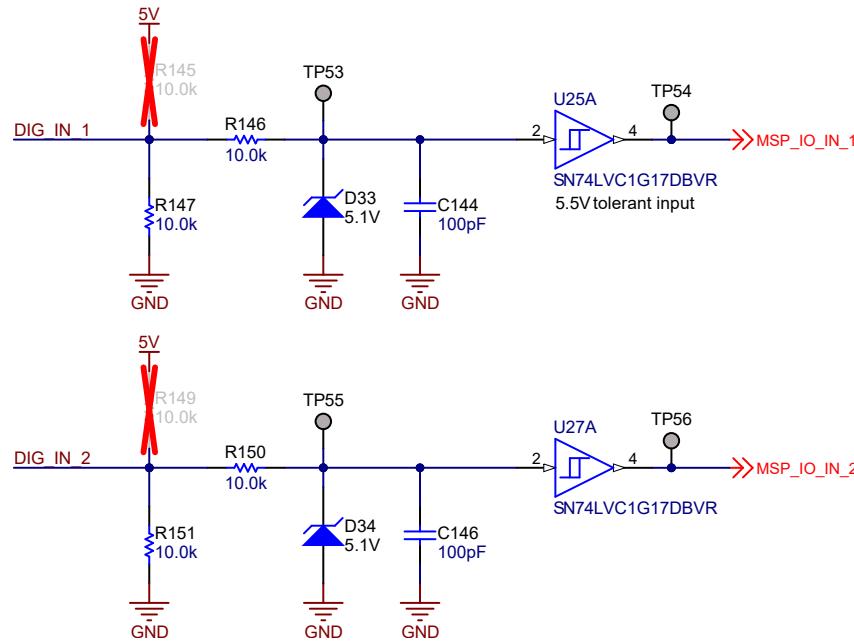


图 2-25. 通用输入

数字输入连接安全开关，监控继电器反馈信号或读取其他逻辑电平状态。输入信号首先通过一个用于限制电流的  $10\text{k}\Omega$  串联电阻器，然后通过一个将电压钳位至 5.1V 的齐纳二极管。一个滤波电容器与齐纳二极管并联，用以抑制齐纳二极管开关行为引起的瞬变。

然后，受保护的信号馈送到施密特触发缓冲器 SN74LVC1G17。该缓冲器接受高达 5.5V 的输入电压，即使在由较低电源电压供电的情况下也是如此。在此配置中，电路可以安全地接受高达 24V 的逻辑输入。SN74LVC1G17 迟滞特性（正向阈值约为 1.8V 且负向阈值为 1.3V）可防止因嘈杂或缓慢变化的信号引起误触发。

### 2.2.9.2 模拟输入

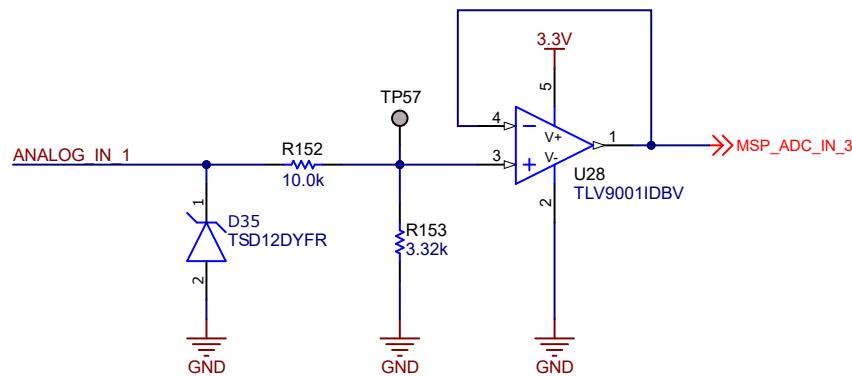


图 2-26. 模拟输入

模拟输入级采用 TLV9001 运算放大器，配置为电压跟随器。在此设计中，输入电压范围为 0V 至 12V。首先，分压器将输入信号调节到 MSPM0 ADC 的有效 0V 至 3.3V 范围内。凭借轨到轨输入和输出摆幅能力，TLV9001 可直接由 3.3V 电源供电，同时仍能保持精确的信号缓冲，并维持低输出阻抗，以驱动 ADC。

### 2.2.9.3 数字输出

TPL7407LA 低侧驱动器采用高压、高电流 NMOS 晶体管阵列，实现数字输出功能。该器件包含七个集成了钳位二极管的 NMOS 通道，用于开关电感负载。每条通道支持高达 30V 的输出电压，并具有 600mA 的最大漏极电流额定值。

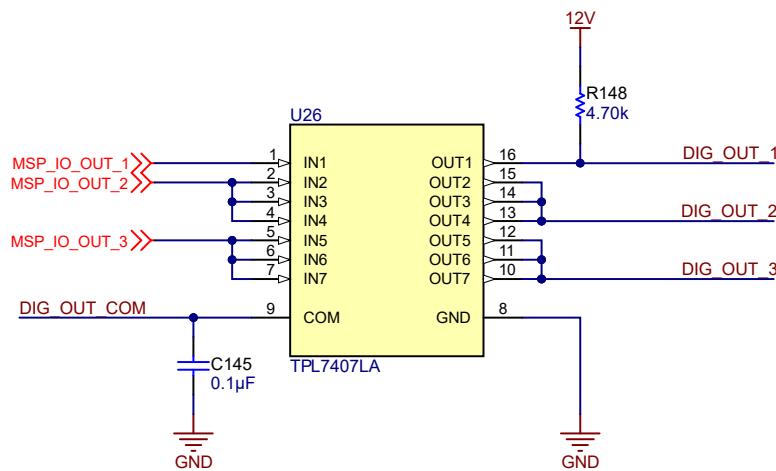


图 2-27. 通用输出

该设计将七个通道分为三个功能部分。第一部分使用单个通道 (IN1、OUT1)，在 TIDA-010939 中上拉至 12V。该输出作为 12V GPIO，用于控制外部硬件的使能信号。其余两个部分各并联三个通道，以提高输出的总电流驱动能力。

TPL7407LA 支持广泛的接口要求，涵盖驱动螺线管、继电器和小型电机，以及切换简单的 LED 指示灯。其内部续流二极管可抑制在驱动感性负载时产生的反向感应电压。COM 必须连接至最高负载电压，该电压可与电感负载电源相同，也可不同。COM 引脚还为内部栅极驱动电路供电，工作电压范围为 6.5V 至 30V。虽然在低于 6.5V 的电压下仍可工作，但会导致栅极驱动电压降低和  $R_{DS(on)}$  增大。

## 2.3 重点产品

### 2.3.1 MSPM0G3507

MSPM0G3507 微控制器 (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MCU 系列，该 MCU 系列基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台，工作频率最高可达 80MHz。图 2-28 显示了 MSPM0G350x 功能方框图。

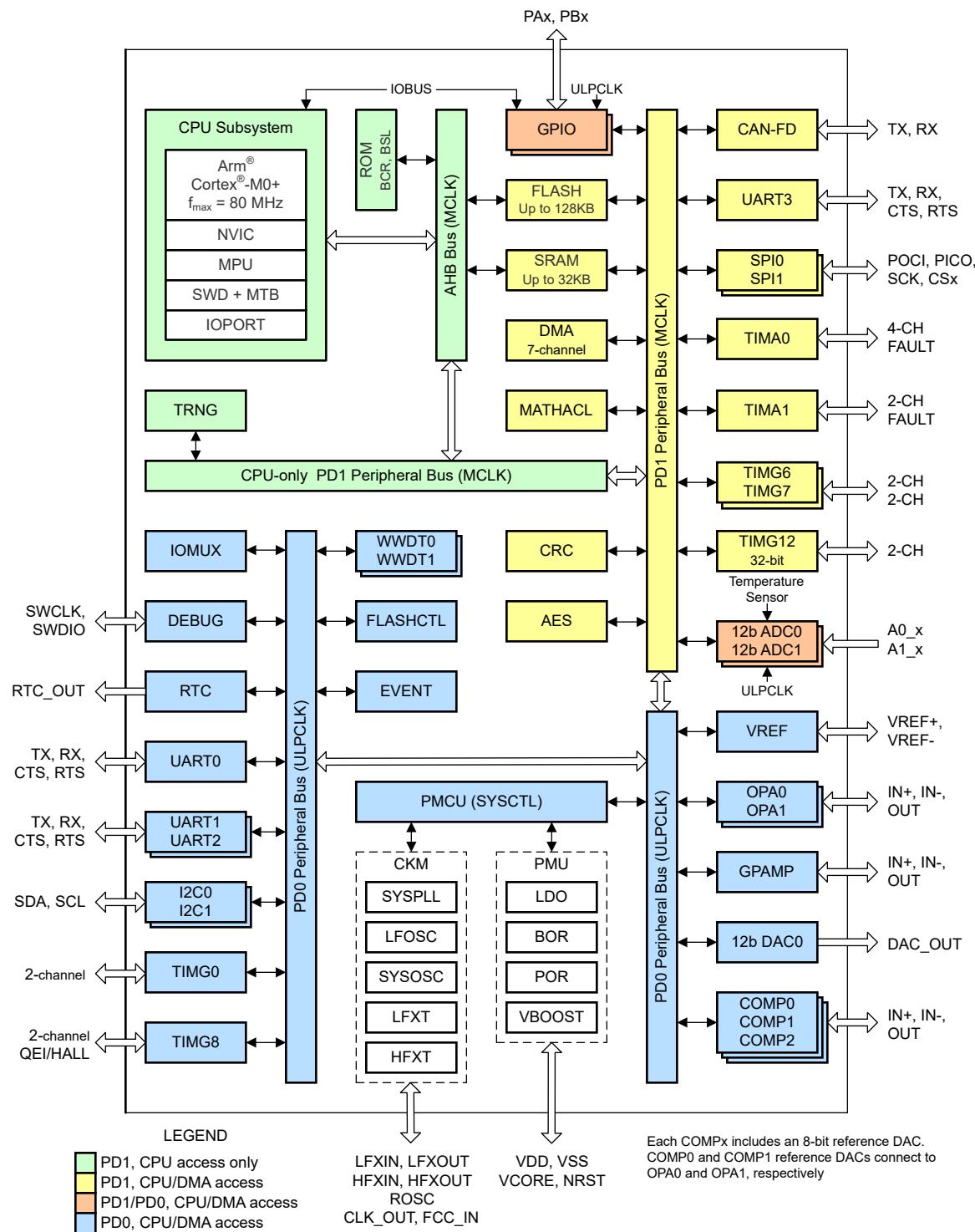


图 2-28. MSPM0G3507 功能方框图

这些成本优化型 MCU 集成了高性能模拟外设，其中包括两个同步采样 12 位 4 Msps 模数转换器 (ADC)，该 ADC 具有多达 17 个外部通道，用于测量控制引导和温度传感器等信号。借助两个 16 位高级控制计时器和五个通用计时器，MCU 可以精确调度 ADC 读取，以在给定的稳定时间后对 PWM 信号的高低相位进行采样，从而精确测量控制引导波形。这些计时器还用于生成 PWM 输出，以便驱动继电器并控制锁定执行器的时序。集成 CRC 模块可加快循环冗余校验计算，此计算用于验证通过 UART 接口从 AM62L MPU 接收的数据包的完整性。

MSPM0G3507 的主要特性是工作温度范围：-40°C 至 125°C；宽电源电压范围：1.62V 至 3.6V；以及具有内置纠错码 (ECC) 的集成式 128KB 闪存和带硬件奇偶校验的 32KB ECC 保护 SRAM。

### 2.3.2 AM62L

低成本并且性能经过优化的 AM62L 系列应用处理器专为 Linux® 应用开发而构建。这些器件基于可扩展的 Arm® Cortex®-A53 内核，提供多媒体 DSI/DPI 支持、双路千兆位以太网、高级低功耗管理模式、以及丰富的具有内置安全功能的 IP 保护安全选项。

AM62Lx 系列器件包含大量外设，非常适合各种工业和电动汽车充电应用，同时还提供智能功能和优化的电源架构。此外，AM62Lx 中包含大量外设，可实现系统级连接，例如：CAN-FD、USB、MMC/SD、OSPI 和 ADC。图 2-29 显示了 AM62L 功能方框图。

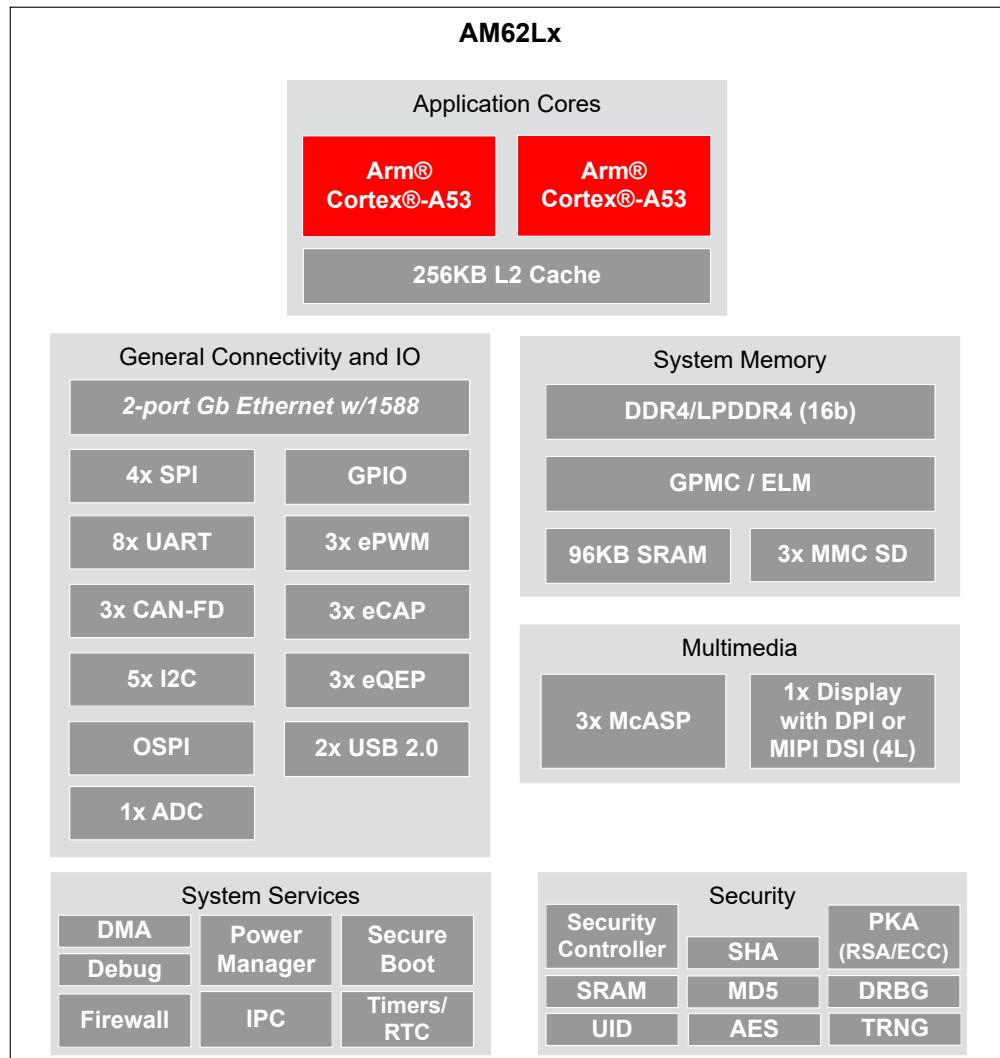


图 2-29. AM62L 功能方框图

### 3 硬件、软件、测试要求和测试结果

#### 3.1 所需的硬件和软件

设置 TIDA-010939 时需具备以下各项：

- 12V 辅助电源 ( 10.08V - 13.2V , 5A )
- AM62L-EVM
- USB Type-C® 电缆
- MSPM0 - 交流充电器软件示例：[evse\\_controller\\_TIDA-010939](#)
- AM62L 图像，包括 Everest EV 充电软件栈：[AM62L-PROCESSOR-SDK](#)
- 软件指南：[AM62L-EVSE-DEV-EVM 软件用户指南](#)
- TIDA-010239 ( 可选 )
- TIDA-010237 ( 可选 )

图 3-1 所示为 TIDA-010939 电路板顶面带标注的示意图。

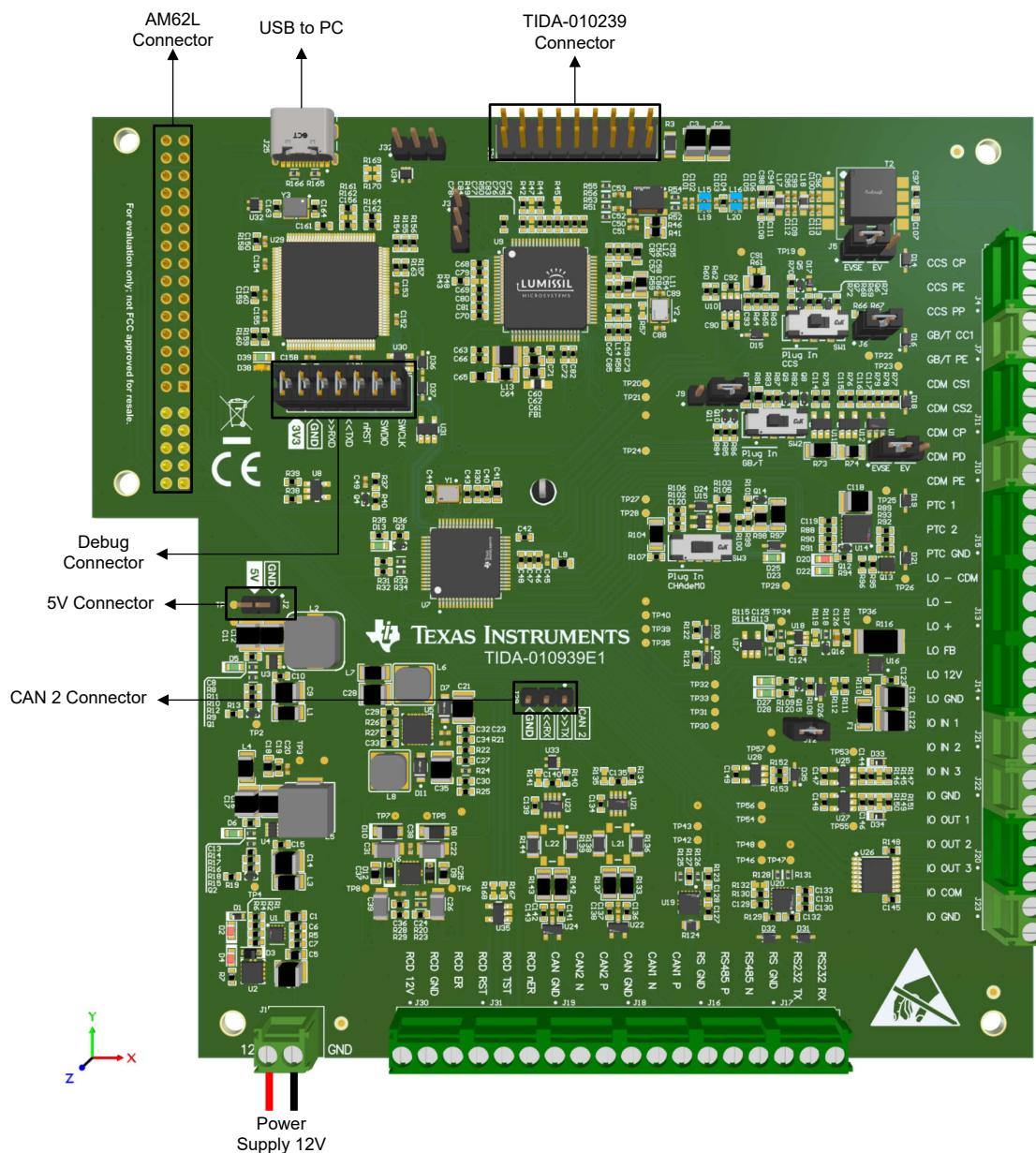


图 3-1. TIDA-010939 顶面

## 3.2 测试设置

在设置测试板之前，请进行目视检查，确保该板处于良好状态且不存在损坏。

### 3.2.1 电源选项

TIDA-010939 设计可通过两种方式上电：

1. 外部 12V 电源。
  - a. TIDA-010939 可由连接在螺纹端子 J1 处的单个 12V 外部电压轨供电。
  - b. 与 TIDA-010239 配合使用时，这两个电路板均可由 TIDA-010939 外部 12V 输入供电。这样一来，无需单相或三相高压输入，即可为整个系统供电。
2. 通过 TIDA-010239 电路板由单相或三相高压输入供电。
  - a. 在这种情况下，TIDA-010239 上的隔离式交流/直流功率级可为 TIDA-010939 提供必要的电源。
  - b. 当 TIDA-010939 连接到 TIDA-010239 并由电网电压供电时，请勿向其提供外部 12V 输入，否则可能会对系统造成损坏。

### 3.2.2 XDS110 调试探针

为了简化开发，TIDA-010939 集成了板载调试探针，因而无需额外的编程器。TIDA-010939 具有 XDS110 调试探针，这是一款简单且成本很低的调试器，支持所有 MSPM0 器件衍生产品。XDS110 还提供与主机的反向通道 UART-over-USB 连接，这在调试过程中非常有用，并且有助于轻松地与 PC 进行通信。

利用跳线 J24 处的跳线块，用户可以连接或断开 XDS110 和 MSPM0G3507 之间的信号。这包括 XDS110 SWD 信号、应用 UART 信号以及 3.3V 电源。

可以移除跳线，从而：

- 释放目标 MCU 引脚，用于除板载调试和应用 UART 通信以外的其他目的
- 释放 XDS110 的编程和 UART 接口，使其可用于板载 MCU 以外的器件
- 使用 3.3V 电压为外部器件供电

#### 3.2.2.1 应用（或反向通道）UART

反向通道 UART 可实现与 USB 主机进行通信（不属于目标应用的主要功能）。这在开发过程中非常实用，而且还能提供与 PC 主机侧进行通信的通道。

反向通道 UART 是 MSPM0 上的 UART1 ( PA8、PA9 ) 上的 UART。在主机侧，当 TIDA-010939 在主机上进行枚举时，将生成一个用于应用反向通道 UART 的虚拟 COM 端口。可以使用任何与 COM 端口连接的 PC 应用程序（包括 Hyperterminal® 或 Docklight 等终端应用程序）来打开该端口并与目标应用程序通信。识别用于反向通道的 COM 端口。在 Microsoft® Windows® PC 上，使用设备管理器查找 COM 端口。

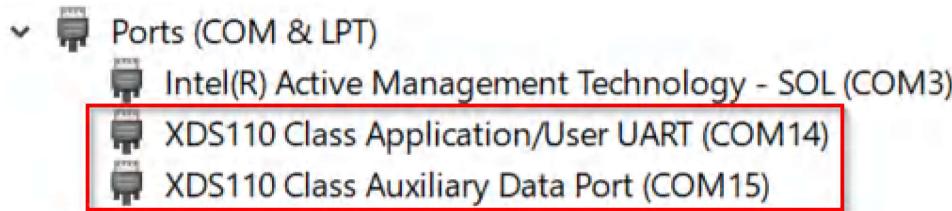


图 3-2. 设备管理器中的应用反向通道 UART

反向通道 UART 为 XDS110 Class Application/User UART 端口。此时，图 3-2 展示了 COM14，但该端口可能因主机 PC 而异。确定了正确的 COM 端口后，请根据文档在主机应用中配置该端口。然后，用户可以打开该端口并开始与主机进行通信。

在目标 MSPM0G3507 侧，反向通道连接到 UART1 模块。XDS110 具有可配置的波特率；因此，PC 应用程序配置的波特率务必与在 UART1 上配置的波特率相同。

### 3.2.2.2 使用外部调试探针代替板载 XDS110

许多用户都有自己青睐的外部调试探针，并且希望绕过 XDS110 调试探针来对 MSPM0 目标 MCU 进行编程。这可以通过连接器 J24 上的跳线来实现。

1. 拆下 J24 连接器上有关 JTAG 信号的跳线，包括 NRST、SWDIO 和 SWCLK。
2. 将任意 ARM 调试探针插入 J24。
3. 将 12V 外部电源插入 TIDA-010939 开发套件。
  - 通过 12V 电压或 TIDA-010239 为 TIDA-010939 供电时，确保 J24 连接器未连接 3.3V 电压。

### 3.2.3 连接到 AM62L-EVM

图 3-3 显示了 TIDA-010939 和 AM62L-EVM 之间的连接，将 TIDA-010939 上的 J27 和 J28 连接到 AM62L-EVM 上的 GPIO 扩展接头。

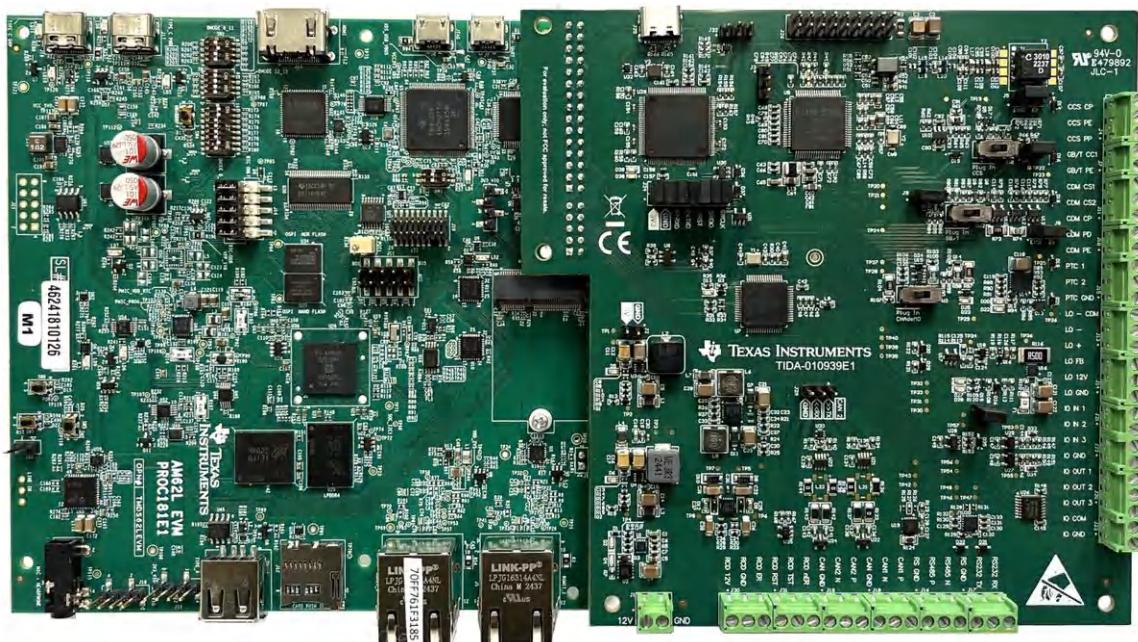


图 3-3. AM62L-EVM - TIDA-010939 连接

AM62L-EVM 上的 GPIO 扩展信号与高清多媒体接口 (HDMI) 共享连接并默认路由至 HDMI。要启用 GPIO 扩展接头，请重新配置 AM62L-EVM。

可以通过软件控制 SoC\_VOUT0\_FET\_SEL0 和 SoC\_VOUT0\_FET\_SEL1 信号并短接 EVM 上的 J29 跳线来切换信号路由。请参阅 [AM62L 评估模块](#) 用户指南中的扩展接头部分。

EVM 需要专用 USB Type-C® 电源 ( 5V、3A )。

### 3.2.4 连接器、引脚接头和跳线设置

表 3-1 列出了 TIDA-010939 的接头名称和跳线设置。表 3-2 显示了螺纹端子的引脚排列。表 3-3 显示了 TIDA-010239 上 J27 连接器的引脚排列。

表 3-1. 接头名称和跳线设置

指示符	功能	注释
J2	5V 连接器	5V 输出
J3	Lumissil 调试接头	用于 Lumissil IS31CG5317-LQLS3 的 UART 连接 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 引脚 1 : UART RX</li> <li>• 引脚 2 : GND</li> <li>• 引脚 3 : UART TX</li> </ul>

**表 3-1. 接头名称和跳线设置 (续)**

指示符	功能	注释
J5	CCS 配置	将 CCS 硬件以太网配置为 EVSE 或电动汽车，以进行背对背测试 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 和 2 : EVSE</li> <li>引脚 2 和 3 : EV</li> </ul>
J6	CCS 接近引导接头	在 1 类、NACS 和 2 类插头之间配置 PP <ul style="list-style-type: none"> <li>组装 : 2 类</li> <li>未组装 : 1 类、NACS</li> </ul>
J8	GB/T 配置接头	将 GB/T 硬件以太网配置为 EVSE 或电动汽车，以进行背对背测试 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 和 2 : EVSE</li> <li>引脚 2 和 3 : EV</li> </ul>
J9	GB/T - ChaoJi 测试设置选择接头	为 GB/T 或 ChaoJi 配置 GB/T 测试硬件以太网 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 和 2 : ChaoJi 标准</li> <li>引脚 2 和 3 : GB/T</li> </ul>
J12	插头锁定模式设置	配置 DRV8220 的控制模式。必须在器件启动之前设置。 <ul style="list-style-type: none"> <li>组装 : PH/EN 模式</li> <li>未组装 : 半桥模式</li> </ul>
J24	MSP 调试接头	用于连接或断开板载 XDS110 调试探针的接头。移除跳线可将外部调试探针连接到 MSPM0。 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : 3.3V</li> <li>引脚 2 : 3.3V</li> <li>引脚 3 : GND</li> <li>引脚 4 : GND</li> <li>引脚 5 : MSPM0 PA9 (55) - UART1 RX</li> <li>引脚 6 : XDS110 - TXD</li> <li>引脚 7 : MSPM0 PA8 (54) - UART1 TX</li> <li>引脚 8 : XDS110 - RXD</li> <li>引脚 9 : MSPM0 nRST (38)</li> <li>引脚 10 : XDS110 复位输出</li> <li>引脚 11 : MSPM0 PA19 (12) - SWDIO</li> <li>引脚 12 : XDS110 TMS SWDIO</li> <li>引脚 13 : MSPM0 PA20 (13) - SWCLK</li> <li>引脚 14 : XDS110 TCK SWDCLK</li> </ul>
J29	CAN 2 接头	从 AM62L 到 TCAN 器件的 CAN 输入端 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CAN TX</li> <li>引脚 2 : CAN RX</li> <li>引脚 3 : GND</li> </ul>
J32	I2C 接头	连接到 AM62L 以便可以进行 I2C 通信 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : I2C SCL</li> <li>引脚 2 : I2C SDA</li> <li>引脚 3 : GND</li> </ul>

**表 3-2. 螺纹端子引脚排列**

指示符	功能	注释
J1	辅助电源输入	外部 12V 输入 ( 10.08V - 13.2V , 5A )

**表 3-2. 螺纹端子引脚排列 (续)**

指示符	功能	注释
J4	CCS、NACS	连接到 CCS 或 NACS 的充电插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CCS PP - 接近引导</li> <li>引脚 2 : CCS PE - 保护性接地</li> <li>引脚 3 : CCS CP - 控制引导</li> </ul>
J7	GB/T、ChaoJi	连接到 GB/T 或 ChaoJi 的充电插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : GBT PE - 保护性接地</li> <li>引脚 2 : GBT CC1 - 充电确认 1</li> </ul>
J10	CHAdeMO	连接到 CHAdeMO 的充电插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CDM PE - 保护性接地</li> <li>引脚 2 : CDM PD - 接近检测</li> </ul>
J11	CHAdeMO	连接到 CHAdeMO 的充电插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CDM CP - 车辆充电授权</li> <li>引脚 2 : CDM CS2 - 充电序列 2</li> <li>引脚 3 : CDM CS1 - 充电序列 1</li> </ul>
J13	插头锁定	连接到充电插口或插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : LO+ 锁定马达正极端子</li> <li>引脚 2 : LO- 锁定马达负极端子</li> <li>引脚 3 : LO- CDM - CHAdeMO 锁定负极端子</li> </ul>
J14	插头锁定反馈	连接到充电插口或插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : LO GND - 反馈接地</li> <li>引脚 2 : LO 12V - 反馈的 12V 电源</li> <li>引脚 3 : LO FB - 反馈输入</li> </ul>
J15	温度检测	连接到充电插口或插头 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : PTC GND - 温度传感器的接地端</li> <li>引脚 2 : PTC 2 - 温度传感器 2 的输入</li> <li>引脚 3 : PTC 1 - 温度传感器 1 的输入</li> </ul>
J16	RS-485	RS-485 连接器 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : RS GND - 接地</li> <li>引脚 2 : RS485 P - 总线 I/O 端口 , A</li> <li>引脚 3 : RS485 N - 总线 I/O 端口 , B</li> </ul>
J17	RS-232	RS-232 连接器 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : RS 接地</li> <li>引脚 2 : RS232 TX - RS232 线路数据输出</li> <li>引脚 3 : RS232 RX - RS232 线路数据输入</li> </ul>
J18	CAN 1	CAN 1 连接器 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CAN 接地</li> <li>引脚 2 : CAN 1 N - 低电平 CAN 总线 I/O</li> <li>引脚 3 : CAN 1 P - 高电平 CAN 总线 I/O</li> </ul>
J19	CAN 2	CAN 2 连接器 <ul style="list-style-type: none"> <li>引脚 1 : CAN 接地</li> <li>引脚 2 : CAN 2 N - 低电平 CAN 总线 I/O</li> <li>引脚 3 : CAN 2 P - 高电平 CAN 总线 I/O</li> </ul>

**表 3-2. 螺纹端子引脚排列 (续)**

指示符	功能	注释
J20	数字输出	数字输出连接器 • 引脚 1 : IO OUT 3 - 数字输出 3 • 引脚 2 : IO OUT 2 - 数字输出 2 • 引脚 3 : IO OUT 1 - 数字输出 1
J21	数字输入	数字输入连接器： • 引脚 1 : IO IN 2 - 数字输入 2 • 引脚 2 : IO IN 1 - 数字输入 1
J22	模拟输入	模拟输入连接器 • 引脚 1 : IO GND - 接地 • 引脚 2 : IO IN 3 - 模拟输入
J23	数字输出	数字输出连接器 • 引脚 1 : IO GND - 接地 • 引脚 2 : IO COM - 电源输入
J30	RCD 输入	RCD 输入连接器 • 引脚 1 : RCD 12V - 用于 RCD 的 12V 输出 • 引脚 2 : RCD GND - 接地 • 引脚 3 : RCD ER - 误差输入
J31	RCD 输入	RCD 输入连接器 • 引脚 1 : RCD RST - 复位输出 • 引脚 2 : RCD TST - 测试输出 • 引脚 3 : RCD nER - 负主动误差输入

**表 3-3. TIDA-010239 J26 连接器引脚排列**

引脚	名称	注释
1	+12V	从 TIDA-010239 反激式输出到 TIDA-010939 或从 TIDA-010939 +12V 辅助电源到 TIDA-010239 的 +12V 以太网
2	+12V	从 TIDA-010239 反激式输出到 TIDA-010939 或从 TIDA-010939 +12V 辅助电源到 TIDA-010239 的 +12V 以太网
3	+14V	来自 TIDA-010239 反激式输出的 +14V
4	-14V	来自 TIDA-010239 反激式输出的 -14V
5	5V	从 TIDA-010939 到 TIDA-010239 的 5V
6	3.3V	从 TIDA-010939 到 TIDA-010239 的 3.3V
7	GND	接地
8	GND	接地
9	MSP_PWM_R_ENABLE	继电器控制信号
10	Relay_Check	继电器焊接检测反馈
11	RCD_nFAULT	RCD 负主动故障信号，用于在故障情况下禁用电源继电器
12	R_Mirror_Out	继电器后视镜触点反馈
13	GND	接地
14	GND	接地
15	PLC_ZC_IN	用于 Lumissil IS31CG5317 的过零检测
16	PW_EN_EXT	使用 TIDA-010239 电源时用于 TPS65130RGER 的使能信号
17	GND	接地
18	Super_Cap_Char	备用电源超级电容器充电指示器

### 3.3 测试结果

#### 3.3.1 控制引导

本节介绍了控制引导信号逻辑高电压和低电压、脉宽和频率的测试数据。

##### 3.3.1.1 TLV1805 输出上升和下降时间

图 3-4 和图 3-5 显示了 TLV1805 控制引导信号发生器的上升和下降时间。

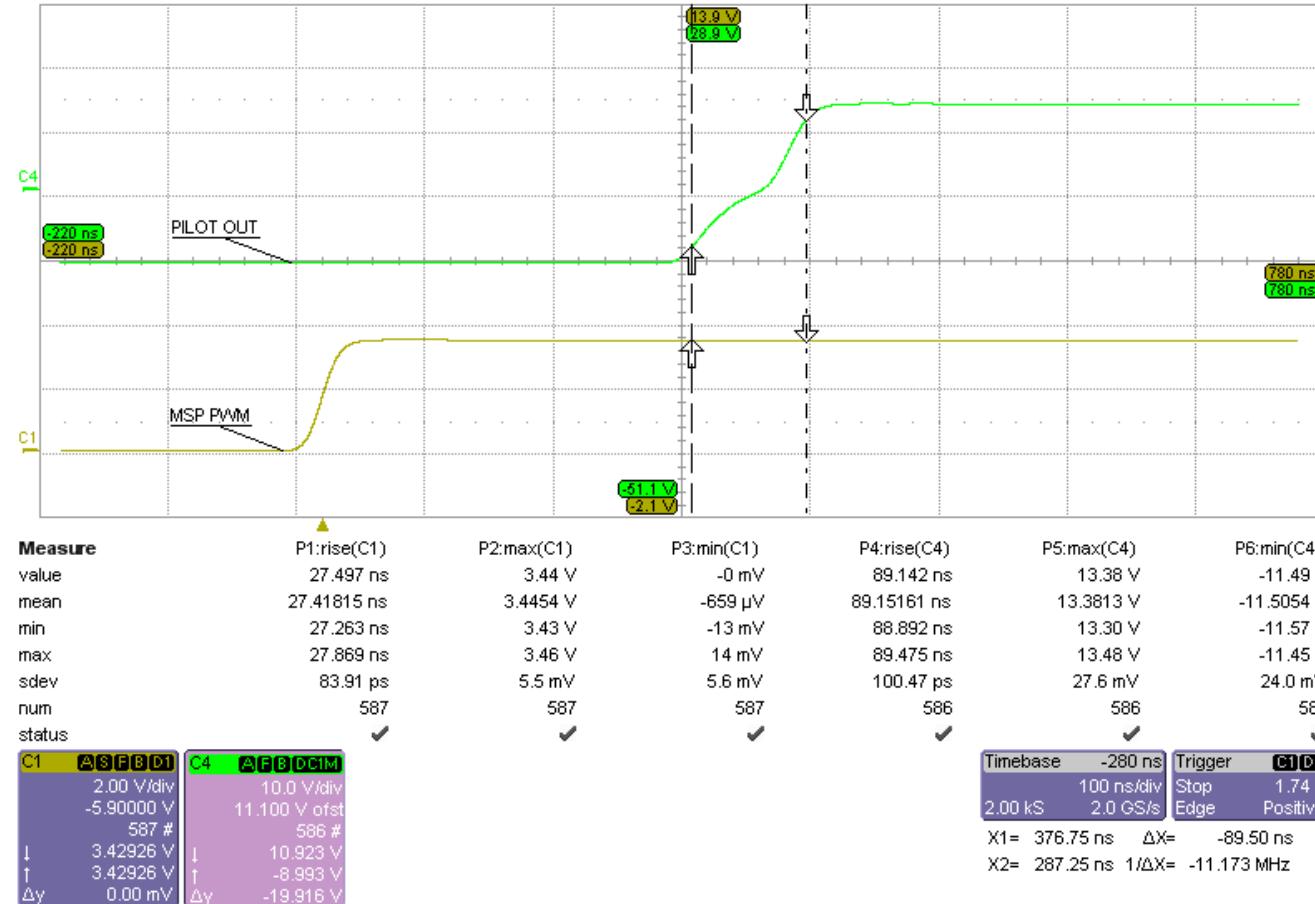


图 3-4. 控制引导上升时间

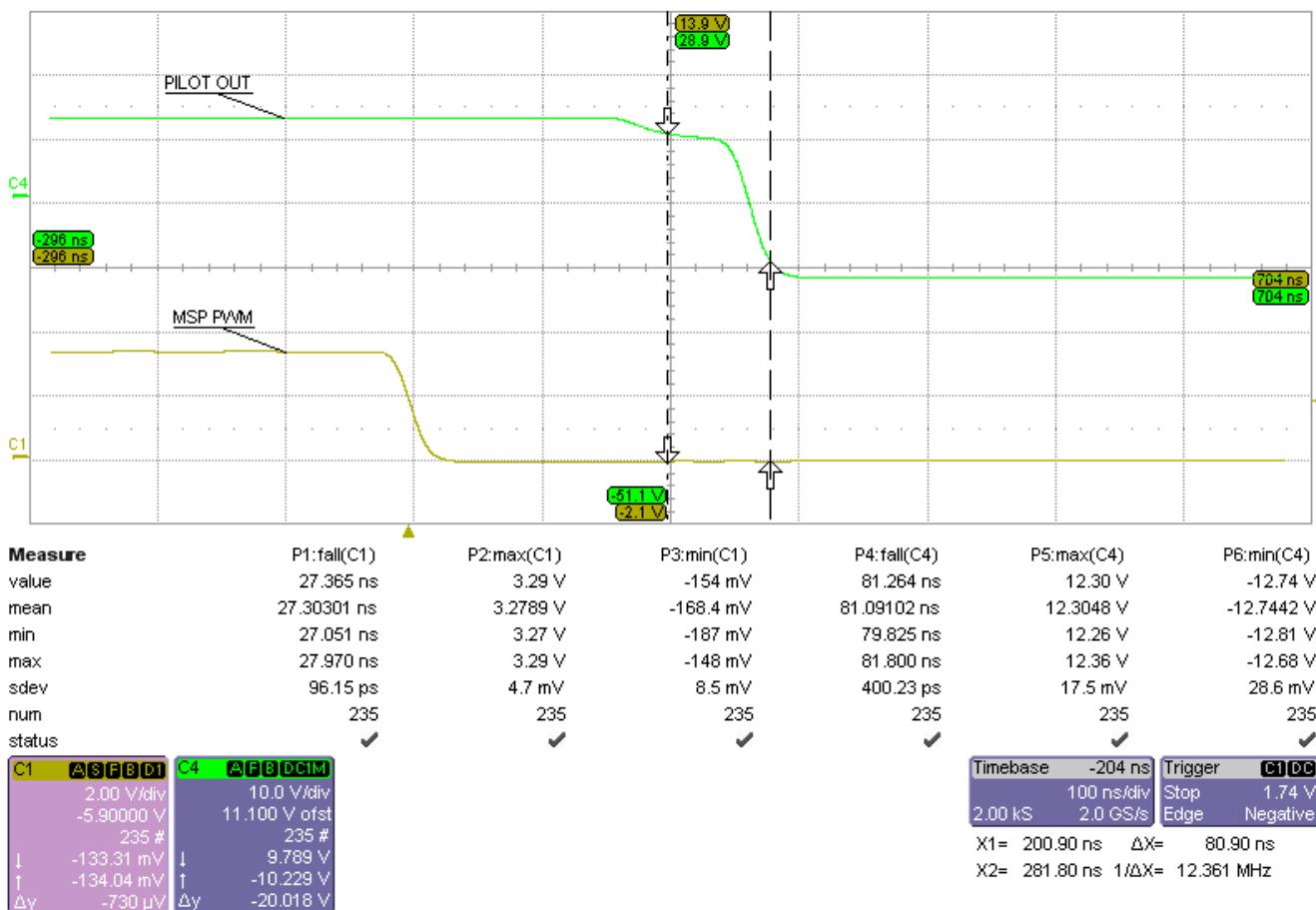


图 3-5. 控制引导下降时间

根据 J1773 和 IEC61851，该电路的上升时间和下降时间小于  $2\mu\text{s}$ 。上升时间和下降时间超过此值时，则会开始显著增加输出上升时间和下降时间，该时间由  $1\text{k}\Omega$  电阻和引导线上的总电容决定。上升时间和下降时间由从负到正完整转换的 10% 至 90% 或从正到负完整转换的 90% 至 10% 定义，该转换在脉冲发生器输出和 R61 ( $1\text{k}\Omega$ ) 之间测量。发生器是指之前的 TLV1805 (U10) 并使用  $\pm 12\text{V}$  方波驱动  $1\text{k}\Omega$  源电阻。

### 3.3.1.2 不同状态下的控制引导信号电压精度

图 3-6 至图 3-8 显示了不同状态下的控制引导信号电压精度。

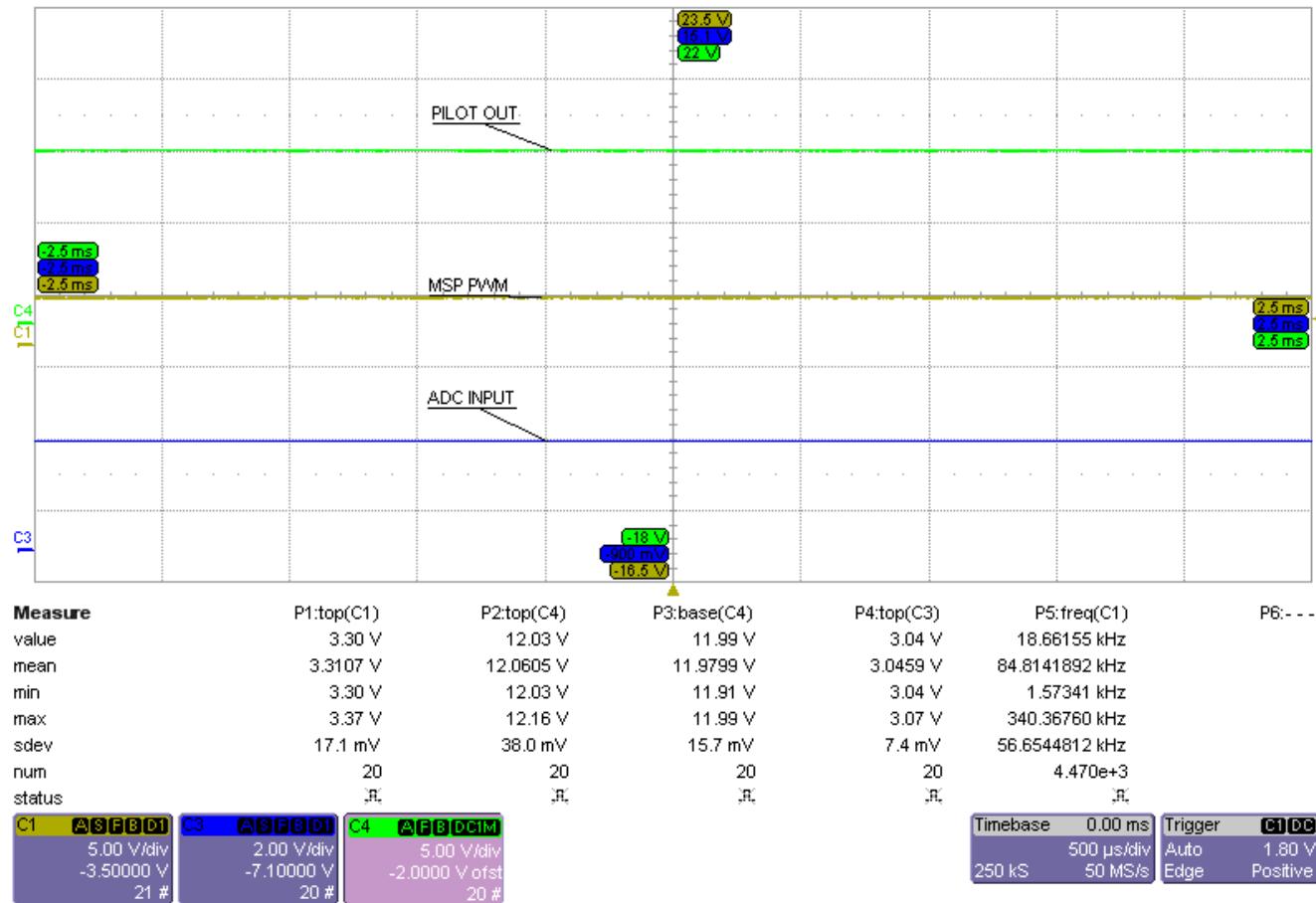


图 3-6. 状态 A 下的控制引导信号电压精度

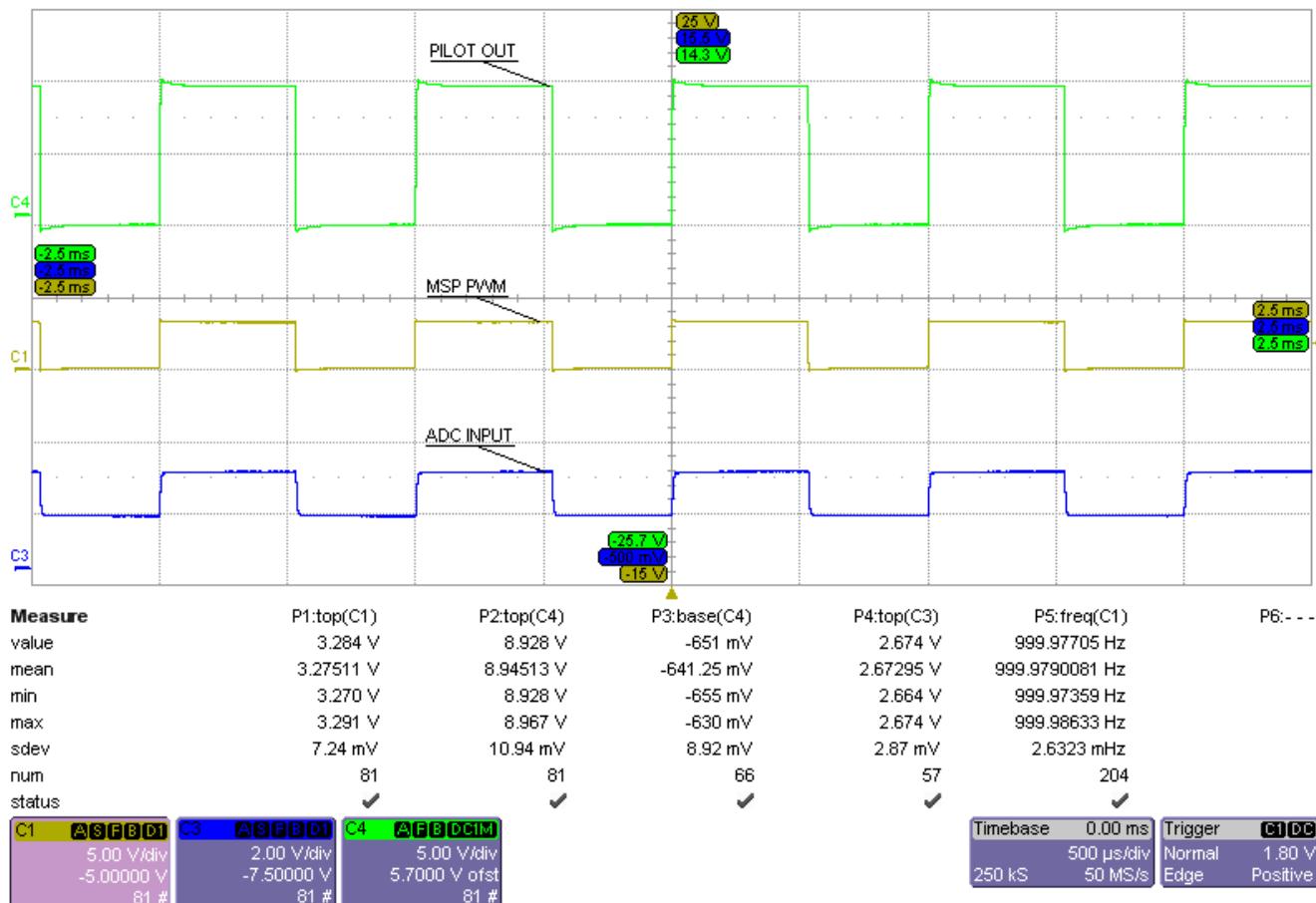


图 3-7. 状态 B 下的控制引导信号电压精度

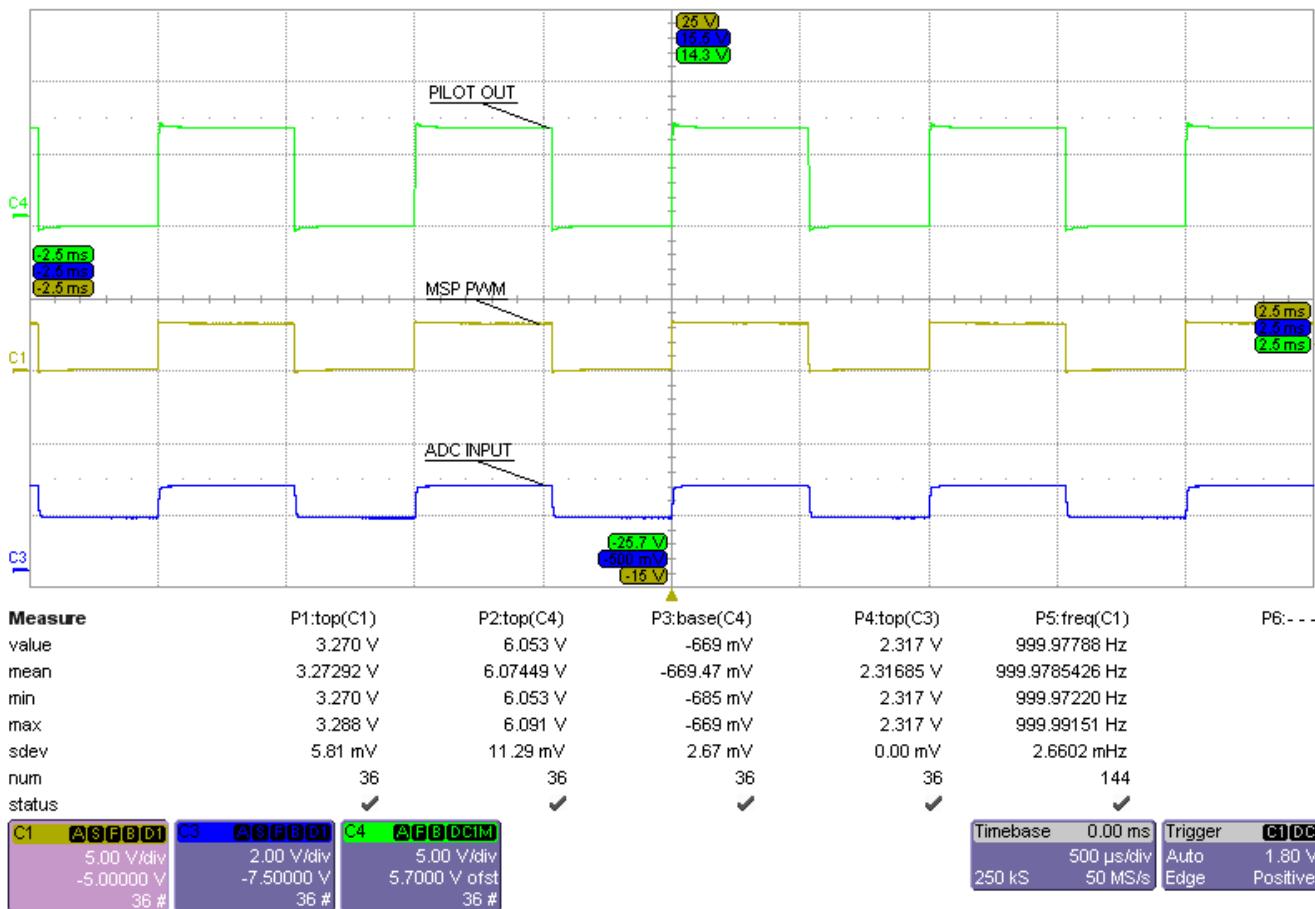


图 3-8. 状态 C 下的控制引导信号电压精度

这些电压精度结果通过 TIDA-010939 上的电动汽车仿真电路进行测试。

### 3.3.2 GB/T ChaoJi

本部分介绍 GB/T 和 ChaoJi 控制信号电压的测试数据。通过内部电动汽车仿真电路生成不同的状态。

#### 3.3.2.1 GB/T 信号电压精度

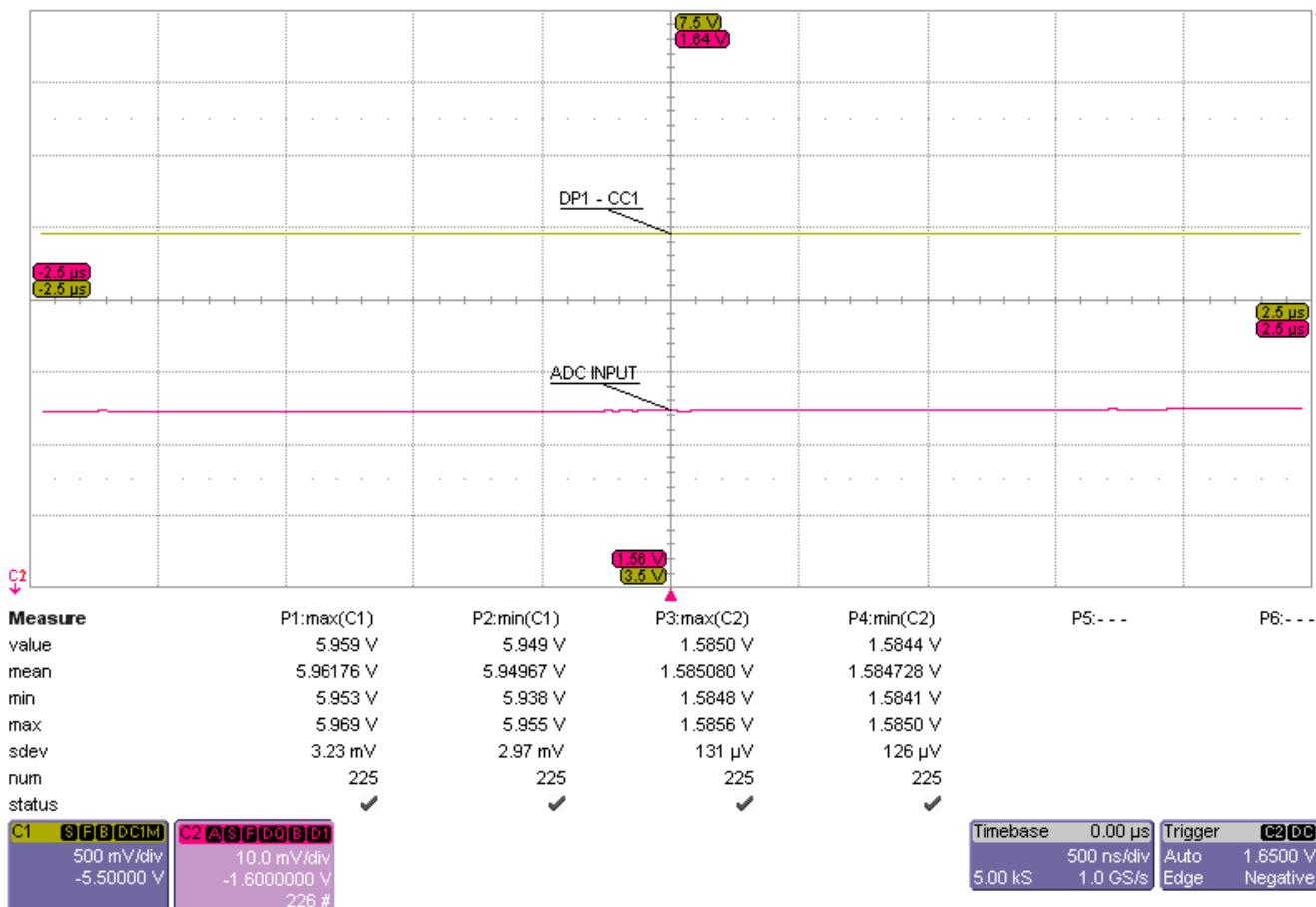


图 3-9. CC1 信号电压精度 - 电动汽车已连接

### 3.3.2.2 不同状态下的 ChaoJi 信号电压精度

图 3-10 至图 3-13 显示了不同状态下的充电序列 1 信号电压精度。

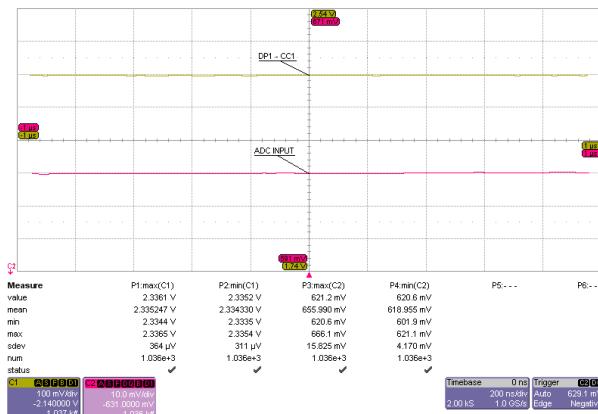


图 3-10. 状态 A 下的 CC1 信号电压精度

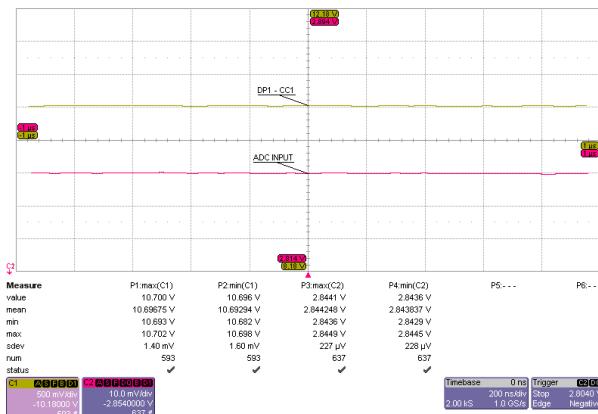


图 3-11. 状态 B 下的 CC1 信号电压精度

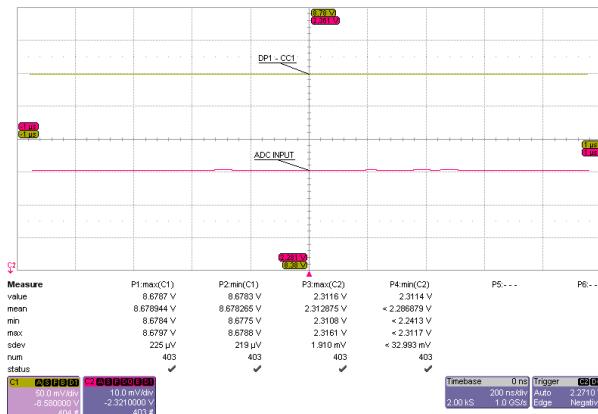


图 3-12. 状态 C 下的 CC1 信号电压精度

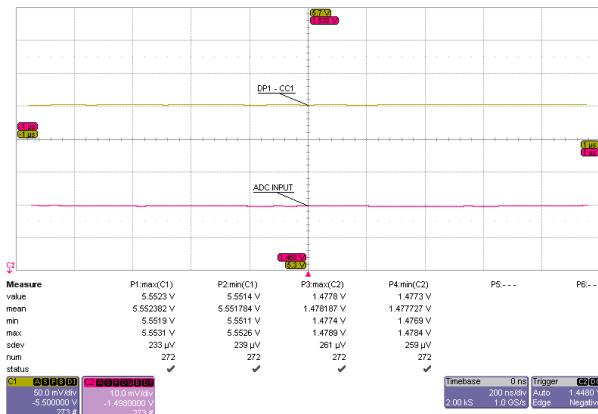


图 3-13. 状态 D 下的 CC1 信号电压精度

### 3.3.3 数字和模拟输入

本部分展示数字和模拟输入的测试数据。

#### 3.3.3.1 数字输入

图 3-14 展示了电路的阈值电压数字输入。

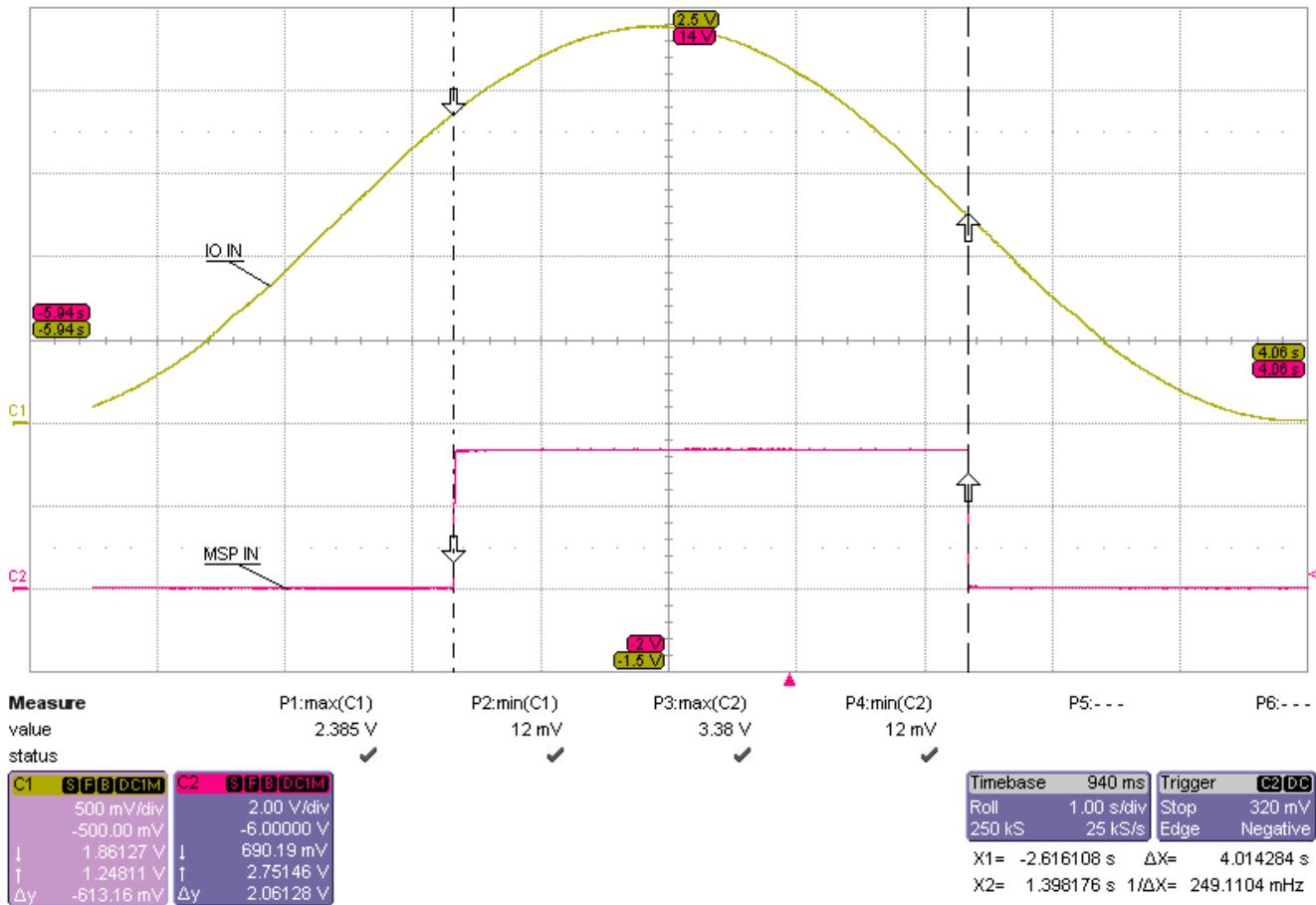


图 3-14. 电路的阈值电压数字输入

### 3.3.3.2 模拟输入

图 3-15 显示了电路的模拟输入电压与 ADC 输入电压间的关系。

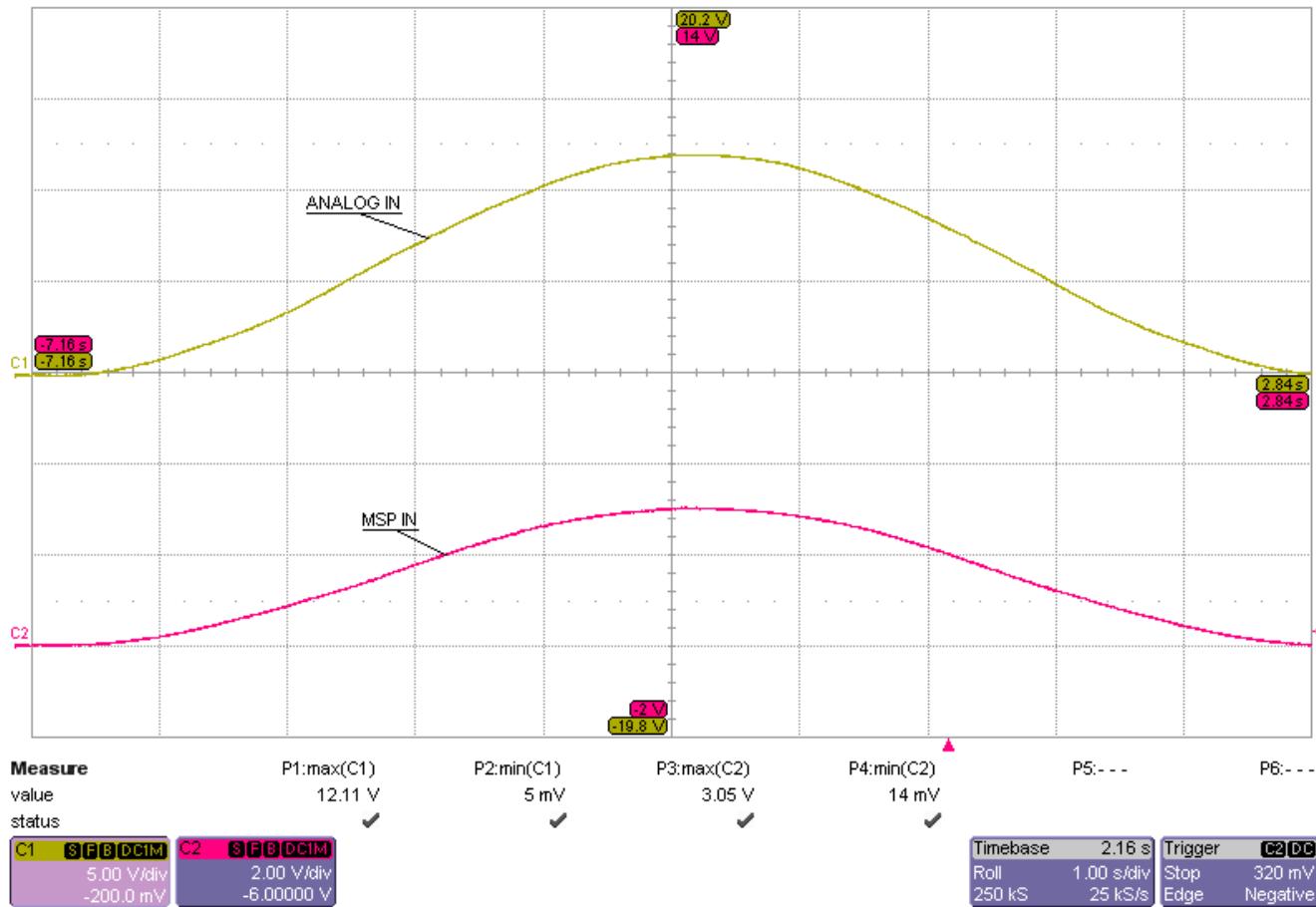


图 3-15. 模拟输入电压与 ADC 输入电压间的关系

## 4 设计和文档支持

### 4.1 设计文件

#### 4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010939](#) 中的设计文件。

#### 4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010939](#) 中的设计文件。

### 4.2 工具与软件

#### 工具

[CCSTUDIO](#) Code Composer Studio™ 集成式开发环境 (IDE)

[SYSCONFIG](#) 包含直观图形用户界面的系统配置工具，用于配置引脚、外设、无线电、软件栈、RTOS、时钟树和其他元件。

#### 软件

[MSPM0-SDK](#) MSPM0 SDK 通过单个软件包提供软件、工具和文档的精选集合，可以加快 MSPM0 MCU 平台应用程序的开发。

[AM62L-SDK](#) AM62L 处理器 Linux 和 TI FreeRTOS 软件开发套件 (SDK) 均为面向嵌入式处理器的统一软件平台，设置简单，可提供开箱即用的基准测试和演示。

### 4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[MSPM0G350x 具有 CAN-FD 接口的混合信号微控制器](#) 数据表
2. 德州仪器 (TI)，[AM62Lx Sitara™ 处理器数据表](#)
3. 德州仪器 (TI)，[AM62L 评估模块用户指南](#)

### 4.4 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](#)。

### 4.5 商标

E2E™, Sitara™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.

Lumissil® is a registered trademark of Lumissil Microsystems.

Hyperterminal® is a registered trademark of Hilgraeve, Incorporated.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 5 作者简介

**SIMON BOZOWICKI** 是德州仪器 (TI) 德国公司的系统工程师，他在能源基础设施团队中专注于电动汽车充电领域。Simon 获得了德国杜塞尔多夫应用技术大学的电气工程硕士学位。

## 6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

<b>Changes from Revision * (September 2025) to Revision A (December 2025)</b>	<b>Page</b>
• 更改了 <a href="#">CCS 电动汽车仿真电路</a> 。	7
• 添加了 <a href="#">数字输入</a> 部分。	25
• 添加了 <a href="#">模拟外设</a> 部分。	25
• 添加了 <a href="#">数字输出</a> 部分。	26
• 更改了 <a href="#">AM62L-EVM - TIDA-010939</a> 连接。	32

## 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出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