

# Design Guide: TIDA-010253

## 适用于储能系统的电池控制单元参考设计



### 说明

该参考设计是一款适用于高压锂离子 (Li-ion)、磷酸铁锂 (LiFePO4) 电池架的中央控制器。该设计提供高压继电器驱动电路、通信接口 (包括 RS-485、控制器局域网 (CAN)、菊花链和以太网)、湿度传感器的可扩展接口、高压模数转换器 (ADC) 和电流传感器。该设计使用高性能微控制器来开发和测试应用程序。得益于这些特性, 该参考设计适用于大容量电池架应用的中央控制器。

### 资源

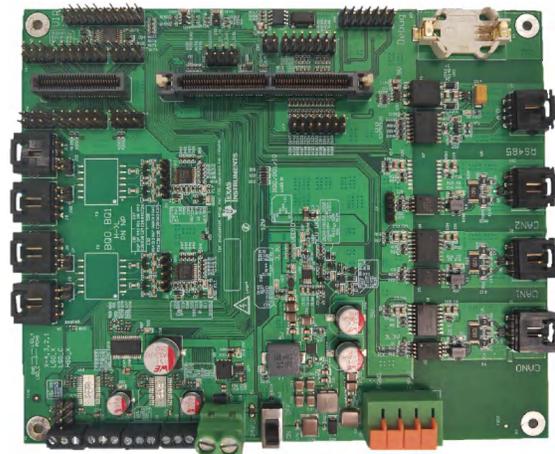
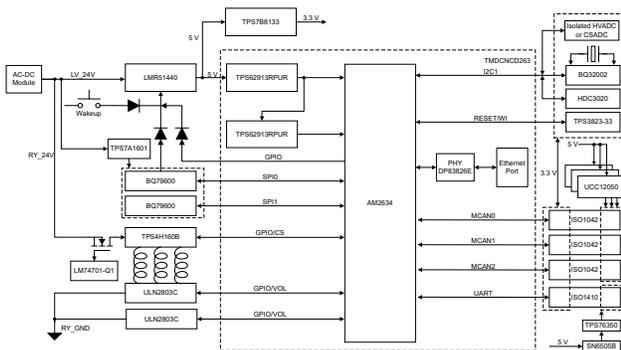
<a href="#">TIDA-010253</a>	设计文件夹
<a href="#">TMDSCNCD263</a> 、 <a href="#">LMR51440</a> 、 <a href="#">TPS7A16</a>	产品文件夹
<a href="#">TPS7B81</a> 、 <a href="#">TPS62913</a> 、 <a href="#">TPS4H160-Q1</a>	产品文件夹
<a href="#">ULN2803C</a> 、 <a href="#">ISO1042</a> 、 <a href="#">UCC12050</a> 、 <a href="#">ISO1410</a>	产品文件夹
<a href="#">SN6505B</a> 、 <a href="#">BQ32002</a> 、 <a href="#">HDC3020</a> 、 <a href="#">TPS3823</a>	产品文件夹
<a href="#">DP83826E</a> 、 <a href="#">TPS763</a> 、 <a href="#">LM74701-Q1</a> 、 <a href="#">TSD05C</a>	产品文件夹

### 特性

- 接口符合 Sitara™ MCU controlCARD 标准
- 完整的通信接口, 包括隔离式 CAN、RS-485 和以太网
- 继电器线圈的稳健驱动通道
- 稳健的菊花链通信通道
- 带湿度传感器、实时时钟、看门狗和高压 ADC 的综合接口
- 电源反极性保护

### 应用

- 电池储能系统



## 1 系统说明

目前，电池储能系统 (BESS) 在住宅、商业和工业、电网储能和管理领域发挥着重要作用。BESS 具有多种高压系统结构。商业、工业和电网 BESS 包含多个电池架，每个电池架的电池组中包含多个电池包。住宅 BESS 包含一个电池架。

电池架是组成 BESS 的集成模块。电池架由并联的电池包组成。由于电池电芯需要适当的工作和贮存温度、电压范围和电流范围，以确保生命周期和安全，因此必须在电池架级别监测并保护电池电芯。

电池控制单元 (BCU) 是一种设计为安装在电池架中以管理电池架或单个电池包电能的控制器。BCU 执行以下任务：

- 与电池系统管理单元 (BSMU)、电池电源转换系统 (PCS)、高压监测单元 (HMU) 和电池监测单元 (BMU) 进行通信
- 估计 **电池包** 或 **电池架** 充电状态 (SOC) 和健康状态 (SOH)
- 电池组均衡、热管理、电源 (继电器) 开关
- 限制充电和放电电流
- 给其他系统供电

HMU 是一个控制器，设计为安装在电池架中，用于监测电池架和单个电池包的状态，包括电池架电压、电流、单次或累积充放电、循环时间和绝缘。BCU 与 HMU 配合使用，可在电池架上实现全面的保护和能源管理功能。

BMU 是一个控制器，设计安装在电池包中，用于在整个生命周期内监测每个电池电芯的电压和温度。

HMU 和 BMU 收集的信息传输到 BCU 以进行安全和能源管理。BMU 与 BCU 或 HMU 与 BCU 之间还需要稳健且快速的通信。CAN 传统上广泛用于实现通信的稳健性。CAN 结构控制器需要一个 MCU、一个数字隔离器和一个隔离式电源模块来运行 CAN 通信功能。电池包侧隔离式接口和 MCU 的高效功耗管理对于 CAN 至关重要。

菊花链是取代 CAN 的可选方案。与 CAN 接口相比，BMU、HMU 和 BCU 中只需要几个变压器。因此，菊花链在成本上优于 CAN，尤其是在大容量电池包应用中，因为在由许多 BMU 节点和 CAN 接口器件组成的大容量 BESS 中，成本是 CAN 结构的一个问题。绝缘要求也会增加成本。在 BMU、HMU 和 BCU 通信接口之间使用增强型绝缘会增加数字隔离器和隔离式电源模块的成本。

BCU 需要将 SOC、SOH 和电池架状态传输到 PCS 和 BSMU，以运行整个储能系统。CAN、RS-485 和以太网广泛用于通信接口。

BCU 会根据 SOC、SOH 和电池架状态 (如电池架电流、电压、温度和绝缘状态) 接通或断开继电器，以确保电池架安全。SOC 和 SOH 是根据电池包和电池架的准确信息估算的。

该设计侧重于大容量电池包应用和适用于住宅、商业和工业、电网 BESS 等领域的应用。该设计使用连接到 [TMDSCNCD263](#) (AM263x 通用 controlCARD 开发套件基于 Arm® 的 MCU) 的连接接口来测试所有功能。采用外部看门狗 TPS3823 来确保 MCU 可靠运行。该设计包含一个 TPS4H160 和两个 ULN2803 器件，用于接通或断开继电器线圈的电源，并对继电器线圈进行全面诊断和高精度电流检测。该设计包含三个 ISO1042 器件、一个 ISO1410 器件、一个 DP83826E 器件和两个用于通信接口的 BQ79600 器件。UCC12050 和 SN6505 器件用于隔离式电源。该设计还连接实时时钟 BQ32002 来记录数据，并连接湿度传感器 HDC3020 来监测电池架或电池包的冷凝状态。



## 2.2 设计注意事项

### 2.2.1 电源树和唤醒

图 2-2 显示了 BCU 电源树。

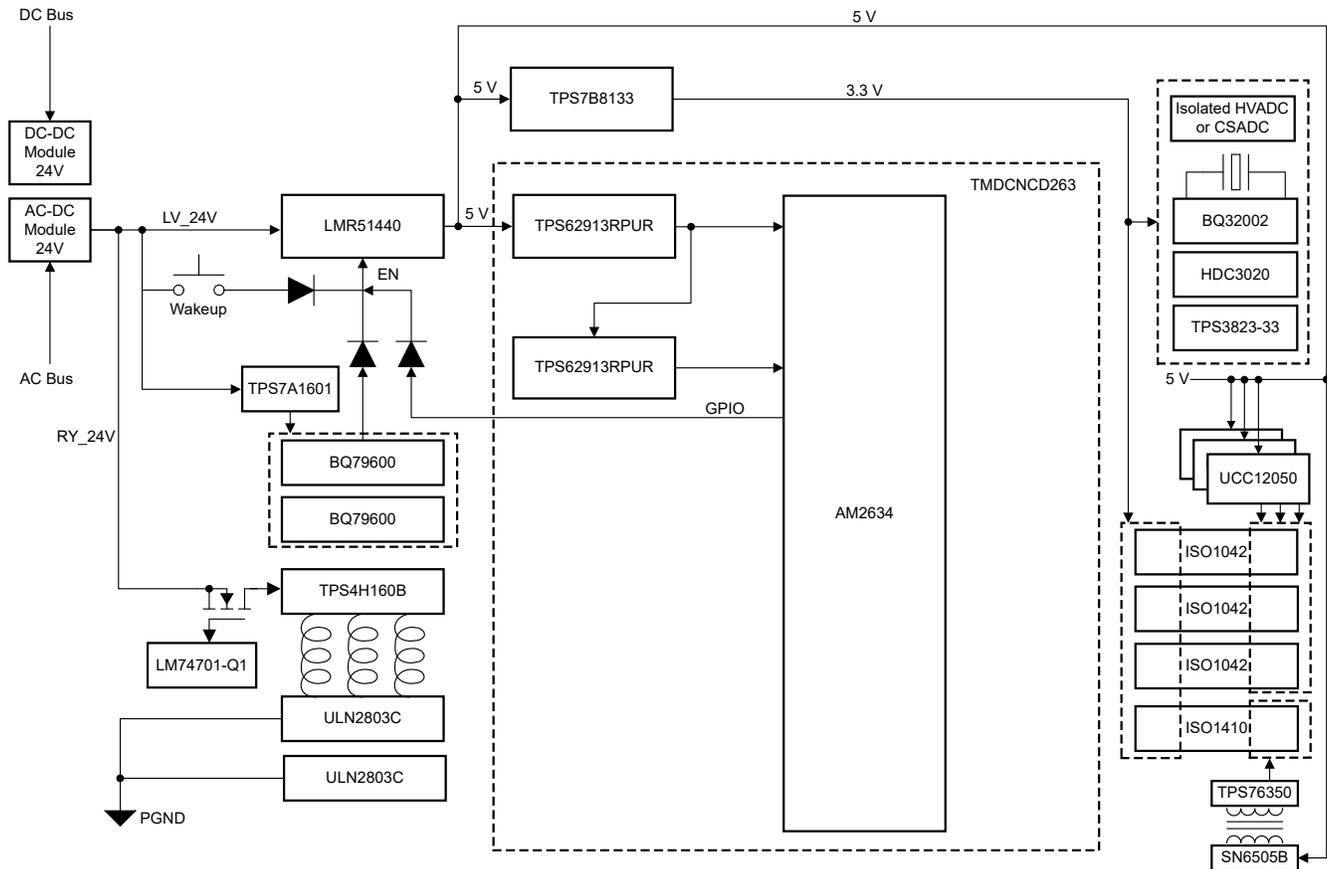


图 2-2. BCU 电源树

BCU 的额定电压为 24V，范围为 18V 至 32V。24V 电源可由交流/直流模块或直流/直流模块提供，最小功率为 70W。

有两个 24V 输入电源路径 (LV\_24V 和 RY\_24V)。LV\_24V 用于为器件的所有控制功能供电。LM51440 用于将 LV\_24V 转换为 5V，最大电流为 4A。5V 电源轨用于为 TMDCNCD263、UCC12050 和 SN6505B 提供电源电压。UCC12050 为隔离式 CAN 提供收发器侧 5V 电源电压。SN6505B、变压器和 TPS76350 为隔离式 RS-485 提供收发器侧 5V 电源电压。低压差 (LDO) TPS7A1601 将 LV\_24V 转换为 12V。12V 电源轨可启用 BQ79600 的反向唤醒功能。LDO TPS7B8133 将 5V 转换为 3.3V。3.3V 电源轨用于为隔离式 CAN 或隔离式 RS-485、BQ32002、HDC3020 和 TPS3823-33 提供数字侧电源电压。RY\_24V 用于独立于 LV\_24V 为继电器线圈供电。

通过 EN 引脚唤醒 LMR51440 有两条唤醒路径。一条是使用 LV\_24V 的按钮触发器，另一条是从 BQ79600-Q1 反向唤醒。当在电池包中检测到未屏蔽故障时，BQ79600-Q1 支持通过 INH 引脚自动唤醒主机。MCU 向 LMR51440 提供 IO 电压，并在唤醒触发电压波动时通过 EN 引脚保持 LMR51440。

## 2.2.2 隔离式接口的绝缘要求

表 2-1 显示了 IEC 60664-1-2020 对 1500V BESS 的绝缘要求。

表 2-1. IEC 60664-1-2020 1500V BESS 绝缘要求

参数	电气间隙		爬电距离	
	基础版	加强版	基础版	加强版
高度				
≤ 4000m	7.1 mm	10.4 mm	8 mm	16 mm
5000 m	8.14 mm	11.84 mm	8 mm	16 mm

BCU 与 PCS 或 BCU 与 BSMU 之间需要基本绝缘。海拔 4000m 时，最小电气间隙为 7.1mm，爬电距离为 8mm。海拔 5000m 时，最小电气间隙为 8.14mm，爬电距离为 8mm。该设计遵循海拔 4000m 的要求。对于 CAN，使用 UCC12050 和 ISO1042DWV。对于 RS-485，使用变压器 750315371 和 ISO1410DWR。

BCU 与 BMU 之间需要加强绝缘。最小电气间隙为 10.4mm，爬电距离为 16mm。为了满足最小电气间隙和爬电距离要求，需要使用用于菊花链的变压器或用于 CAN 的数字隔离器。

海拔超过 4000m 时，考虑使用更合适的器件或将器件串联起来。

## 2.2.3 稳健的继电器驱动器

线圈是高压继电器的关键元件，因为它可提供闭合触点所需的驱动力。流经线圈的电流会产生磁场，吸引动铁芯闭合触点，反之则断开触点。尽管市场上有多家高压继电器供应商，如 TE、Panasonic、GIGAVIC、HF 等等，但所有接触器线圈的驱动电流要求都是类似的。如图 2-3 所示，电流曲线可分为三个阶段。第一阶段称为拾取阶段，电流需要足够大并保持足够长的时间，以确保继电器在该阶段内闭合。第二阶段是保持阶段，在这个阶段中将保持较小的电流，以便有效地闭合继电器并使继电器保持闭合状态。最后一个阶段为电流快速衰减阶段，在这个阶段中，电流将以非常快的速度下降，以使触点断开。图 2-3 显示了电流曲线的三个阶段要求，拾取阶段和保持阶段的实际电流可以是具有最大值和最小值的 PWM 信号。

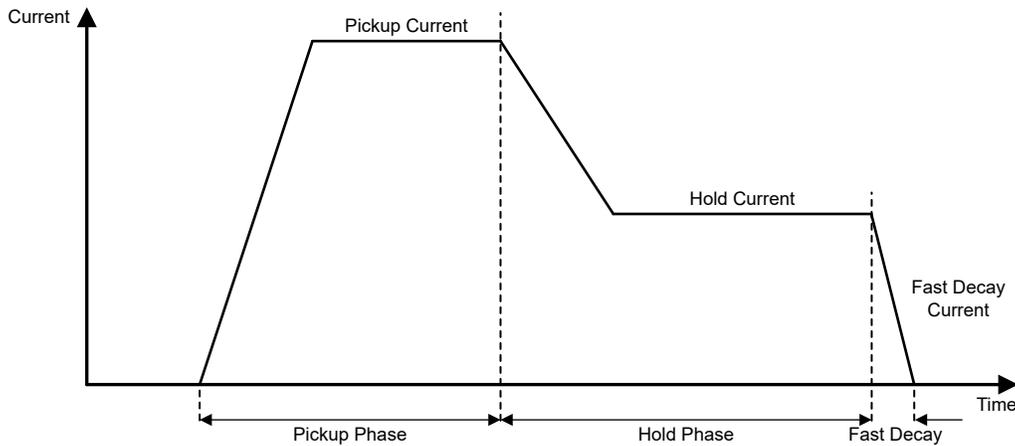


图 2-3. 继电器电流曲线的三个阶段

一般来说，继电器供应商提供两种继电器线圈类型，一种是带有内部节能器的节能线圈，另一种是需要外部节能装置的非节能线圈。节能线圈将内部节能器与双线圈节能器、带电压反馈的脉宽调制和带电流反馈的脉宽调制等方法中的一种集成在一起。单独为线圈的两个端子供电就足够了，所需的电流波形由此内部节能器自行生成。非节能线圈是指没有任何内部电路的线圈，需要外部电路来生成所需的电流波形。

从系统的角度来看，出于安全原因，最好同时使用高侧和低侧开关来驱动继电器线圈。如果仅使用高侧或低侧开关，线圈将始终处于通电状态，无法在发生短路故障时断开。故障与高侧开关上的输入短路和低侧开关上的接地短路有关。大电流流过线圈无法切断，由此产生的大功耗会损坏线圈。

要想实现某种电流曲线，就必须采用经过精心考虑的设计。否则，通过线圈的电流将达到由施加电压除以线圈电阻所得到的最大值。通常，每种规格中都规定了拾取阶段和保持阶段的最大和最小电流，以确保继电器能够正常

工作。一些供应商更愿意针对每个阶段内的最小有效电流做出规定。这些电流远远小于由电源电压和线圈电阻所决定的电流值。这不仅有助于节省能耗，还能够延长继电器的使用寿命。

图 2-4 显示了继电器驱动器电路。

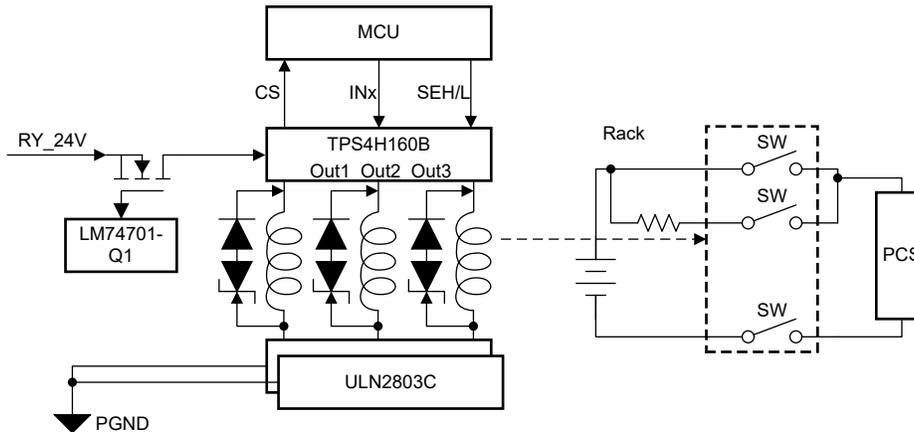


图 2-4. 继电器驱动器电路

RY\_24V 为继电器线圈提供电源。该设计使用 LM74701-Q1 提供反极性保护和低正向压降调节。TPS4H160-Q1 用于将 RY\_24V 切换到线圈正极端子。TPS4H160-Q1 提供 8A 的电流限制，该电流限制足够大，能够以足够的余量覆盖拾取相电流。TPS4H160-Q1 的版本 B 用于负载电流监控功能特性。对于版本 B，SEL 和 SEH 是两个引脚，用于在四个通道之间复用共享电流检测功能。ULN2803C 用于将 GND 切换至线圈负极端子。ULN2803C 由八个 NPN 达林顿对组成，这些达林顿对具有高压输出，带有用于开关电感负载的共阴极钳位二极管。每个达林顿对的集电极电流额定值为 500mA。将达林顿对并联可以提供更高的电流，最高可达 4A。

高侧开关 TPS4H160-Q1 在这里发挥了开/关控件的作用，可以在低侧终端发生短路故障时保护线圈。TPS4H160-Q1 的续流电路为可选项，因为在断开低侧开关时，通过线圈的电流不能突然中断。否则，线圈电感会造成非常大的电压尖峰，从而可能损坏元件。同时，高侧和低侧终端的诊断功能也是 BESS 应用的一大优势。

## 2.2.4 可堆叠菊花链通信

图 2-5 显示了 BMU 和 BMU 环网通信。

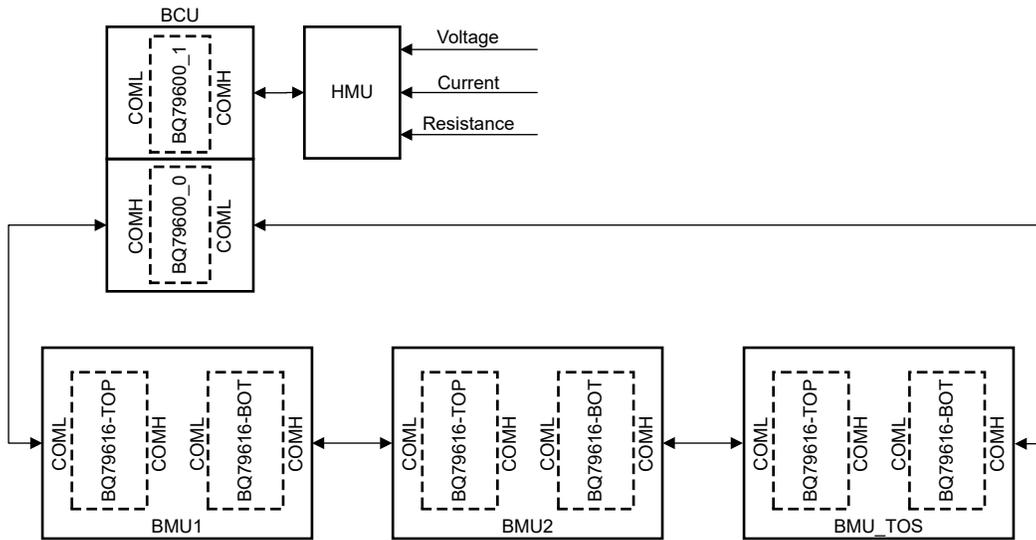


图 2-5. 环网通信结构

BCU 在一个占空比中从 HMU 或高压侧 ADC 收集电池架信息，包括电压、电流和绝缘电阻，以保护系统免受过流影响并估算准确的 SOC。对于某些特定的滤波算法，该占空比可以短至 1ms。BCU 以 100ms 的占空比从 BMU 收集电池信息，包括电池电压、电池温度。稳健的通信结构需要双向通信。考虑到通信周期不同，HMU 使用单个菊花链比与 BMU 使用共享菊花链更可取。

## 2.3 重点产品

### 2.3.1 TMDSCNCD263

TMDSCNCD263P 是一款基于 HSEC180 controlCARD 的评估和开发工具，适用于 AM263x 系列 Sitara™ 高性能微控制器。该电路板提供标准化且易于使用的平台来开发未来的应用，因此是初始评估和原型设计的理想选择。AM263 controlCARD 配备了 Sitara AM2634 处理器以及其他元件，使用户可以利用各种器件接口（包括工业以太网、标准以太网、快速串行接口（FSI）等）轻松开发并测试应用程序。AM2634 支持各种工业以太网协议，如 EtherCAT、Ethernet/IP 和 PROFINET。

TMDSCNCD263 可独立使用或与 [controlCARD 基板扩展坞](#) 配合使用。

特性:

- 标准 180 引脚 HSEC 接口
- 板载 XDS110 调试器和测试自动化接头
- 板载 128MB QSPI 闪存和电流监控
- CAN 收发器、FSI 接头、三个 RJ-45 以太网插孔

### 2.3.2 LMR51440

LMR514x0 是一款简单易用的宽  $V_{IN}$  同步降压转换器，能够驱动高达 4A 或 5A 的负载电流。该器件具有 4V 至 36V 的宽输入范围，非常适合从非稳压源进行电源调节的各种工业应用。

LMR514x0 具有可调开关频率，该频率可以通过外部电阻在 200kHz 至 1.1MHz 范围内调节，这提供了优化效率或外部元件尺寸的灵活性。该器件具有可在轻负载时实现高效率的脉冲频率调制 (PFM) 模式版本和实现恒定频率的强制脉宽调制 (FPWM) 版本，并可在整个负载范围内实现低输出电压纹波。软启动和补偿电路在内部实现，从而允许器件使用最少的外部元件。

该器件具有内置的保护功能，例如逐周期电流限制、断续模式短路保护以及功耗过大时热关断功能。LMR514x0 采用 WSON-12 封装。

### 2.3.3 TPS7A16

TPS7A16 系列超低功耗、低压降 (LDO) 稳压器提供超低静态电流、高输入电压和小型化、高散热性能封装所带来的优势。

TPS7A16 系列产品设计用于连续或者断续 (备用电源) 电池供电的应用, 在此类应用中超低的静态电流对于延长系统电池的寿命十分关键。

TPS7A16 系列产品提供一个与标准 CMOS 逻辑电路兼容的使能引脚 (EN) 和一个具有用户可编程延迟的集成型开漏高电平有效的电源正常输出 (PG)。这些引脚用于基于微控制器、由电池供电且需要电源轨排序的应用。

此外, TPS7A16 非常适合为多节电池设计 (从多节电池电动工具电池包到汽车应用) 生成低电压电源, 该器件不仅能够提供一个稳压良好的电压轨, 还能够承受瞬态电压并在电压瞬态期间保持稳压状态。这些特性意味着电涌保护电路更加简单且更为经济高效。

### 2.3.4 TPS7B81

TPS7B81 是一款低压降 (LDO) 线性稳压器, 可在高达 40V 的输入电压下工作, 并可提供高达 150mA 的电流。该器件在轻负载时的静态电流仅为 2.7 $\mu$ A, 非常适合需要极低待机功耗的宽输入电源设计和多电芯电池应用。45V 瞬态容差为可能存在电感反冲的应用提供了额外的余量, 从而减少了用于电压抑制的外部电路。

TPS7B81 具有集成的短路和过流限制功能, 可在故障条件下为系统提供保护。除了低待机功耗外, 轻负载条件下的极低压降电压也有助于维持电压稳定, 即使在电池耗尽的情况下, 也是如此。

TPS7B81 采用热增强型 8 引脚 HVSSOP 和 6 引脚 WSON 封装。这两种封装都具有高导热性, 且尺寸小, 支持紧凑设计, 非常适合空间有限的应用, 例如电动工具或电机驱动模块和电池包。

### 2.3.5 TPS62913

TPS6291x 器件是一系列高效低噪声和低纹波电流模式同步降压转换器。这些器件非常适合通常使用 LDO 实现后置稳压的噪声敏感型应用, 例如高速 ADC、时钟和抖动清除器、串行器、解串器和雷达应用。

器件在 2.2MHz 或 1MHz 的固定开关频率下工作, 并可与外部时钟同步。

为了进一步减小输出电压纹波, 器件集成了环路补偿, 可与可选的第二级铁氧体磁珠 L-C 滤波器一起工作。从而将输出电压纹波降至 10 $\mu$ V<sub>RMS</sub> 以下。

通过用连接到 NR/SS 引脚的电容器过滤内部电压基准, 可实现接近低噪声 LDO 的低频噪声水平。

可选展频调制方案扩展了更宽范围内的直流/直流开关频率, 从而降低了混合毛刺。

### 2.3.6 TPS4H160-Q1

TPS4H160-Q1 器件是一款集成四个 160m $\Omega$  NMOS 功率场效应晶体管 (FET) 且受到全方位保护的四通道智能高侧开关。

该器件具有丰富的诊断功能以及高精度电流检测功能, 能够对负载实施智能控制。

该器件可从外部调节电流限值以限制浪涌或过载电流, 从而提升整个系统的可靠性。

### 2.3.7 ULN2803C

ULN2803C 器件是一款 50V、500mA 达林顿晶体管阵列。该器件由八个 NPN 达林顿对组成, 这些达林顿对具有高压输出, 带有用于开关电感负载的共阴极钳位二极管。每个达林顿对的集电极电流额定值为 500mA。将达林顿对并联可以提供更高的电流。

应用包括继电器驱动器、电锤驱动器、灯驱动器、显示驱动器 (LED 和气体放电)、线路驱动器和逻辑缓冲器。ULN2803C 器件的每个达林顿对都具有一个 2.7k $\Omega$  的串联基极电阻, 可直接与 TTL 或 5V CMOS 器件配合使用。

### 2.3.8 ISO1042

ISO1042 器件是一款符合 ISO11898-2 (2016) 标准规格的电隔离控制器局域网 (CAN) 收发器。ISO1042 器件提供  $\pm 70$ V 直流母线故障保护功能和  $\pm 30$ V 共模电压范围。该器件在 CAN FD 模式下最高支持 5Mbps 数据速率, 与经典 CAN 相比可实现更为快速的负载传输。该器件采用二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>) 绝缘隔栅, 可承受 5000 V<sub>RMS</sub> 的电压和

1060 V<sub>RMS</sub> 的工作电压。电磁兼容性得到了显著增强,可实现系统级 ESD、EFT 和浪涌并符合辐射标准。与隔离式电源一起使用,此器件可抵御高电压冲击,并防止总线的噪声电流进入本地接地。ISO1042 器件提供基础型和增强型隔离(请参阅增强型和基础型隔离选项)。ISO1042 器件支持 -40°C 至 +125°C 的宽环境温度范围,该器件采用 SOIC-16 (DW) 封装和较小的 SOIC-8 (DWV) 封装。

### 2.3.9 UCC12050

UCC12050 是一款具有 5kV<sub>RMS</sub> 增强型隔离额定值的汽车级直流/直流电源模块,旨在为需要辅助电源及稳压输出电压的隔离电路提供有效的隔离电源。该器件集成了具有专有架构的变压器和直流/直流控制器,可提供 500mW (典型值) 的隔离功率,并具有低 EMI。

UCC12050 集成了保护功能以提高系统稳健性。该器件还具有使能引脚、同步功能以及 5V 或 3.3V 稳压输出选项(带净空电压)。UCC12050 是一种薄型、小型化设计,采用高度为 2.65mm (典型值) 的宽体 SOIC 封装。

### 2.3.10 ISO1410

ISO14xx 器件是适用于 TIA/EIA RS-485 和 RS-422 应用的电隔离式差分线路收发器。这些抗噪声收发器设计用于恶劣的工业环境。这些器件的总线引脚可承受高级别的 IEC 静电放电 (ESD) 和 IEC 电子快速瞬变 (EFT) 事件,无需在总线上使用额外组件进行系统级保护。这些器件提供基础型和增强型隔离(请参阅增强型和基础型隔离选项)。

这些器件用于长距离通信。隔离会破坏通信节点之间的接地回路,从而获得更大的共模电压范围。经测试,每个器件的对称隔离栅可在总线收发器和逻辑电平接口之间按照 UL 1577 标准提供为时 1 分钟的 5000V<sub>RMS</sub> 隔离。

ISO14xx 器件可由 1 侧的 1.71V 至 5.5V 电压供电运行,此电压范围使器件能够与低压 FPGA 和 ASIC 连接。2 侧上具有 3V 至 5.5V 的宽电源电压范围,因此无需在隔离侧提供稳压电源。这些器件支持 -40°C 至 +125°C 的宽工作环境温度范围。

### 2.3.11 SN6505B

SN6505x 是一款低噪声、低 EMI、推挽变压器驱动器,专为小型隔离式电源而设计。该器件通过 2.25V 至 5V 的直流电源来驱动低高度、中心抽头式变压器。通过输出开关电压的压摆率控制和展频时钟 (SSC) 实现了超低噪声和 EMI。SN6505x 由振荡器和栅极驱动器电路组成,此电路提供互补输出信号以驱动接地参考 N 沟道电源开关。该器件包含两个 1A 电源 MOSFET 开关,以确保在重负载条件下正常启动。开关时钟也可由外部提供,以准确放置开关谐波或者在与多个变压器驱动器搭配工作时。内部保护特性包括 1.7A 限流、欠压锁定、热关断和先断后合电路。SN6505x 具有软启动特性,可防止大负载电容器在上电过程中出现高浪涌电流。SN6505A 有 160kHz 内部振荡器,适用于需要大幅降低辐射的应用;而 SN6505B 有 420kHz 内部振荡,适用于需要更高效率和更小变压器尺寸的应用。SN6505x 采用小型 6 引脚 SOT23 或 DBV 封装。该器件的运行温度范围为 -55°C 至 125°C。

### 2.3.12 BQ32002

BQ32002 器件是业界通用实时时钟的兼容替代产品。

BQ32002 具有可以使用电容器或不可充电电池来实现的自动备用电源。BQ32002 具有 -63ppm 至 +126ppm 的可编程校准调整范围。BQ32002 寄存器包括一个指示 RTC 振荡器状态的 OF (振荡器故障) 标志,以及一个允许主机处理器禁用振荡器的停止位。时间寄存器通常每秒更新一次,并且所有寄存器同时更新以防止计时故障。

BQ32002 包含自动闰年补偿。

### 2.3.13 HDC3020

HDC302x 是一款基于集成式电容的相对湿度 (RH) 和温度传感器。该器件能够在宽电源电压范围 (1.62V 至 5.5V) 内提供高测量精度,并能以 2.5mm × 2.5mm 的小巧封装尺寸实现超低功耗。温度传感器和湿度传感器均在美国国家标准与技术研究院 (NIST) 可追溯的生产装置上进行 100% 的测试和微调,并通过根据 ISO/IEC 17025 标准校准的设备进行验证。

偏移误差校正功能可减少 RH 传感器因老化、暴露于极端工作条件和污染物环境所产生的偏移,使器件恢复到精度规格内。在电池供电的物联网应用中,自动测量模式和警报功能可通过更大程度减少 MCU 睡眠时间降低系统功耗。有四种不同的 I2C 地址支持高达 1MHz 的速度。加热元件用于消散冷凝和湿气。

HDC3020 采用不带保护套的空腔封装。以下两个器件型号提供保护套选项，以保护空腔 RH 传感器：HDC3021 和 HDC3022。HDC3021 具有可拆卸保护胶带，可用于保形涂层和印刷电路板 (PCB) 清洗。HDC3022 配有可靠的 IP67 滤膜，可防尘防水并免于 PCB 清洗。

### 2.3.14 TPS3823

TPS382x 系列监控器主要为数字信号处理器 (DSP) 以及基于处理器的系统提供电路初始化和计时监控。上电期间， $\overline{\text{RESET}}$  会在电源电压  $V_{\text{DD}}$  超出 1.1V 时置为有效。因此  $V_{\text{DD}}$  保持在阈值电压  $V_{\text{IT-}}$  以下，电源电压监控器就会监测  $V_{\text{DD}}$  并将  $\overline{\text{RESET}}$  保持为低电平有效。内部计时器将使输出延迟恢复至待机状态 (高电平)，以确保系统正常复位。延时时间  $t_d$  始于  $V_{\text{DD}}$  上升至高于阈值电压 ( $V_{\text{IT-}} + V_{\text{HYS}}$ ) 之后。当电源电压降到阈值电压  $V_{\text{IT-}}$  以下时，输出再次变为有效状态 (低电平)。无需外部组件。该系列所有器件均具有由内部分压器设定的固定检测阈值电压  $V_{\text{IT-}}$ 。TPS382x 系列还提供 200ms (TPS3820) 和 1.6s (TPS3823、TPS3824 和 TPS3828) 的看门狗超时选项。

### 2.3.15 DP83826E

DP83826 能够提供很低的确定性延迟和低功耗，并支持 10BASE-Te、100BASE-TX 以太网协议，可以满足实时工业以太网系统中的严格要求。该器件包含可实现快速链接的硬件自动加载 (bootstrap)、快速链路丢弃检测模式以及用于对系统上其他模块进行时钟同步的专用参考 CLKOUT。

两种可配置模式为：使用通用以太网引脚排列的 BASIC 标准以太网模式，以及支持标准以太网模式和多个工业以太网现场总线应用 (通过附加功能和硬件自举配置) 的 ENHANCED 以太网模式。

### 2.3.16 TPS763

TPS763xx 系列低压降 (LDO) 稳压器具有 LDO 电压、低功耗运行以及小型化封装等优点。与传统 LDO 稳压器相比，这些稳压器具有 LDO 电压和低静态电流。TPS763xx 系列器件采用 5 引脚小外形集成电路 SOT-23 封装，是成本敏感型设计和布板空间宝贵的应用的理想选择。

通过结合全新的电路设计和工艺创新，可以使用 PMOS 传输元件来替代普通的 PNP 传输晶体管。因为 PMOS 传输元件可用作低阻值电阻器，其压降电压较低 [在 150mA 负载电流下的典型值为 300mV (TPS76333)]，并且与负载电流成正比。因为 PMOS 传输元件是电压驱动型器件，其静态电流较低 (最大值为 140 $\mu$ A)，并且在整个输出负载电流范围 (0mA 至 150mA) 内可保持稳定。该器件旨在用于笔记本电脑和手机等便携式系统，其 LDO 电压特性和低功耗运行可显著延长系统电池使用寿命。

TPS763xx 还具有逻辑使能睡眠模式来关闭稳压器，可在  $T_J = 25^\circ\text{C}$  时将静态电流降至最大 1 $\mu$ A。TPS763xx 提供 1.6V、1.8V、2.5V、2.7V、2.8V、3V、3.3V、3.8V 和 5V 固定电压版本以及可变版本 (可在 1.5V 至 6.5V 范围内编程)。

### 2.3.17 LM74701-Q1

LM74701-Q1 是一款符合汽车 AEC Q100 标准的理想二极管控制器，可与作为理想二极管的外部 N 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 配合工作，具有 20mV 正向压降，可实现低损耗反极性保护。LM74701-Q1 是实现 12V 汽车系统输入保护的理想选择。3.2V 输入电压支持可满足汽车系统中严苛的冷启动要求。

该器件通过控制 MOSFET 的栅极将正向压降调节至 20mV。该调节方案可在反向电流事件中支持 MOSFET 平稳关断，并提供零直流反向电流。该器件能够快速 (< 0.75 $\mu$ s) 响应反向电流阻断，因此非常适合在 ISO7637 脉冲测试以及电源故障和输入微短路条件下要求保持输出电压的系统。LM74701-Q1 具有独特的集成 VDS 钳位特性，能够帮助用户实现无 TVS 输入极性保护设计，并在受限的汽车系统中节省平均 60% (典型值) 的 PCB 空间。

LM74701-Q1 控制器可提供适用于外部 N 沟道 MOSFET 的电荷泵栅极驱动器。当使能引脚处于低电平时，控制器关闭，消耗大约 1 $\mu$ A 的电流。

### 3 硬件、软件、测试要求和测试结果

TIDA-010253 的关键性能在 TI 实验室进行了测试，本节说明了使用的终端设备以及测试过程和结果。

表 3-1 介绍了 TIDA-010253 电路板的连接。

**表 3-1. LV\_24V 输入连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J26-1	PGND	电源负极端子
J26-2	PGND	电源负极端子
J26-3	VBATI	电源正极端子，额定电压为 24V，工作电压为 18V - 32V
J26-4	VBATI	电源正极端子，额定电压为 24V，工作电压为 18V - 32V

**表 3-2. RY\_24V 输入连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J16-1	PGND	继电器电源负极端子
J16-2	24V_CONN	继电器电源正极端子，额定电压为 24V，工作电压为 18V - 32V

**表 3-3. 继电器线圈驱动器连接器 1**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J22-1	LS_OUT1	PGND 与线圈之间预留低侧电源开关端子 1
J22-2	LS_OUT_COM	PGND 与线圈之间共用低侧电源开关端子
J22-3	HS_OUT1	继电器电源与线圈之间高侧电源开关端子 1

**表 3-4. 继电器线圈驱动器连接器 2**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J21-1	LS_OUT2	PGND 与线圈之间预留低侧电源开关端子 2
J21-2	LS_OUT_COM	PGND 与线圈之间共用低侧电源开关端子
J21-3	HS_OUT2	继电器电源与线圈之间高侧电源开关端子 2

**表 3-5. 继电器线圈驱动器连接器 3**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J24-1	LS_OUT3	PGND 与线圈之间预留低侧电源开关端子 3
J24-2	LS_OUT_COM	PGND 与线圈之间共用低侧电源开关端子
J24-3	HS_OUT3	继电器电源与线圈之间高侧电源开关端子 3

**表 3-6. 继电器线圈驱动器连接器 4**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J23-1	LS_OUT4	PGND 与线圈之间预留低侧电源开关端子 4
J23-2	LS_OUT_COM	PGND 与线圈之间共用低侧电源开关端子
J23-3	HS_OUT4	继电器电源与线圈之间高侧电源开关端子 4

**表 3-7. 菊花链 0 (COMH) 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J4-3	BQ0_COMHP_ISO	COM 高侧正极
J4-4	BQ0_COMHN_ISO	COM 高侧负极

**表 3-8. 菊花链 0 (COML) 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J8-1	BQ0_COMLN_ISO	COM 低侧负极
J8-2	BQ0_COMLP_ISO	COM 低侧正极

**表 3-9. 菊花链 1 (COMH) 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J9-3	BQ1_COMHP_ISO	COM 高侧正极
J9-4	BQ1_COMHN_ISO	COM 高侧负极

**表 3-10. 菊花链 1 (COML) 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J13-1	BQ1_COMLN_ISO	COM 低侧负极
J13-2	BQ1_COMLP_ISO	COM 低侧正极

**表 3-11. I2C 外围器件连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J19-1	GND	BCU 接地
J19-2	VDDIO	用于 I/O 的 3.3V 电源和用于外围器件的电源
J19-3	EXT_I2C2_GPIO	用于 I2C2 控制的 GPIO
J19-4	EXT_I2C1_GPIO	用于 I2C1 控制的 GPIO
J19-5	I2C2_SDA	用于 I2C2 的串行数据线，连接至 HDC3020
J19-6	I2C2_SCL	用于 I2C2 的串行时钟线，连接至 HDC3020
J19-7	I2C1_SDA	用于 I2C1 的串行数据线，连接至 BQ32002
J19-8	I2C1_SCL	用于 I2C1 的串行时钟线，连接至 BQ32002

**表 3-12. SPI 外围器件 ( HV ADC 和电流传感器 ) 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J25-1	VDDIO	用于 I/O 的 3.3V 电源和用于外围器件的电源
J25-2	VDDIO	用于 I/O 的 3.3V 电源和用于外围器件的电源
J25-3	UIR_OC1	过流报警 1
J25-5	UIR_OC2	过流报警 2
J25-7	UIR_nFAULT	SPI 外围器件故障报警
J25-8	VCC5V	用于外围器件的 5V 电源
J25-9	VCC5V	用于外围器件的 5V 电源
J25-10	VCC5V	用于外围器件的 5V 电源
J25-11	UIR_SPI_MOSI	SPI 主输出，从输入
J25-13	UIR_SPI_MISO	SPI 主输入，从输出
J25-15	UIR_SPI_CS	SPI 片选
J25-17	UIR_SPI_CLK	SPI 时钟

**表 3-12. SPI 外围器件 ( HV ADC 和电流传感器 ) 连接器 ( 续 )**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J25-18	UIR_SN65_EN	用于为外设器件提供额外电源的使能引脚
J25-19	GND	BCU 接地
J25-20	GND	BCU 接地

**表 3-13. CAN0 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J1-2	CANH0	CAN0_High
J1-3	CANL0	CAN0_Low
J1-4	GND0	CAN0_GND

**表 3-14. CAN1 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J2-2	CANH1	CAN1_High
J2-3	CANL1	CAN1_Low
J2-4	GND1	CAN1_GND

**表 3-15. CAN2 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J30-2	CANH2	CAN2_High
J30-3	CANL2	CAN2_Low
J30-4	GND4	CAN4_GND

**表 3-16. RS-485 连接器**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	说明
J30-2	RS485_B	RS-485 负极
J30-3	RS485_A	RS485_Positive
J30-4	GND2	RS485_GND

### 3.1 硬件要求

表 3-17 汇总了用于测试的设备。

**表 3-17. 测试设备汇总**

设备	型号或说明
万用表	Agilent 34401A
示波器	RIGOL MISO5152-E
直流电源	Chroma 6204P-600-8
继电器	EVC500
高压差分探头	Micsig DP10013
CAN 工具	USBCANFD-200U

### 3.2 软件要求

出于测试和演示的目的，使用 HSEC180 controlCARD TMDSCNCD263 实现了一个相对简单的软件，包括继电器驱动、CAN 消息传输和菊花链通信。

### 3.3 测试设置

运行此设计板之前，请执行以下程序。该设计采用电池架配置。该电路板使用 32S-BMU (TIDA-010271) 进行测试，以模拟电池包。USBCANFD-200U 用于在占空比中发送 CAN 消息，以模拟 PCS 和 BSMU。该继电器使用 TE 的 EVC500。直流电源为电源和继电器驱动器电路提供输入 VDC。

图 3-1 显示了继电器驱动器电路。

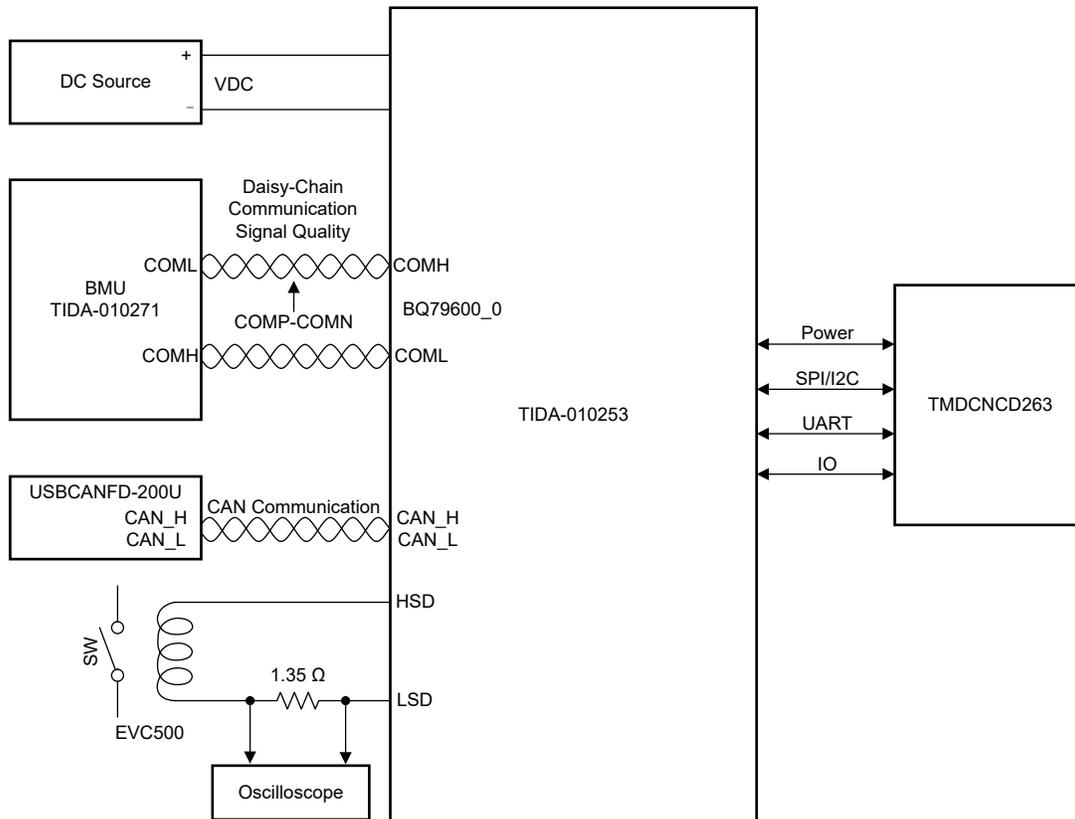


图 3-1. 测试设置

### 3.4 测试结果

#### 3.4.1 电源测试

电源测试包括测量 5V 电源在输入电压 (VDC) 变化时的变化，以及测量输入电压相对于 GND 为负时的输入电流（模拟反向输入条件）。

图 3-2 显示了 5V 电源处于工作状态，并且针对 2V 至 36V 范围内的 VDC 输入电压进行了良好调节。这些测量值是在参考设计电路板上没有外部负载的情况下记录的。

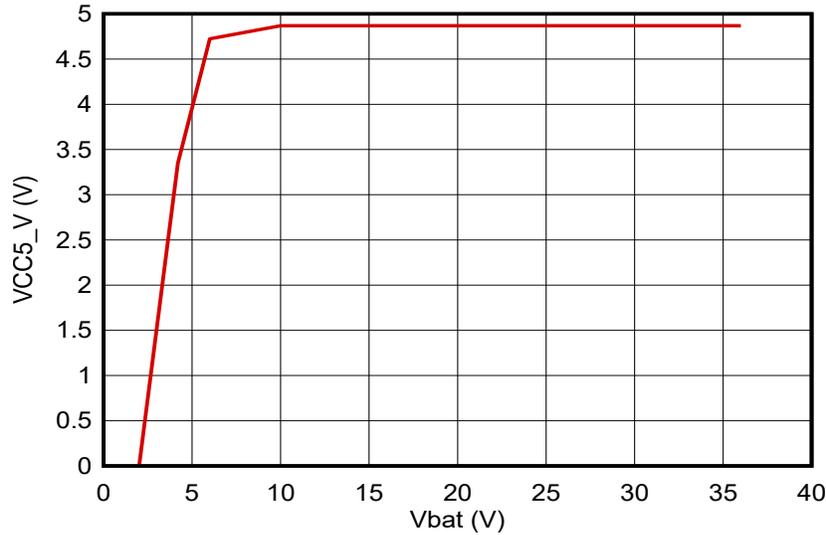


图 3-2. 测得的 5V 电源与施加的输入电压的关系

图 3-3 显示了相对于 GND 施加到输入端的负电压条件下的输入电流。当施加的电压负值大于 -5V 时，电流呈线性增长。

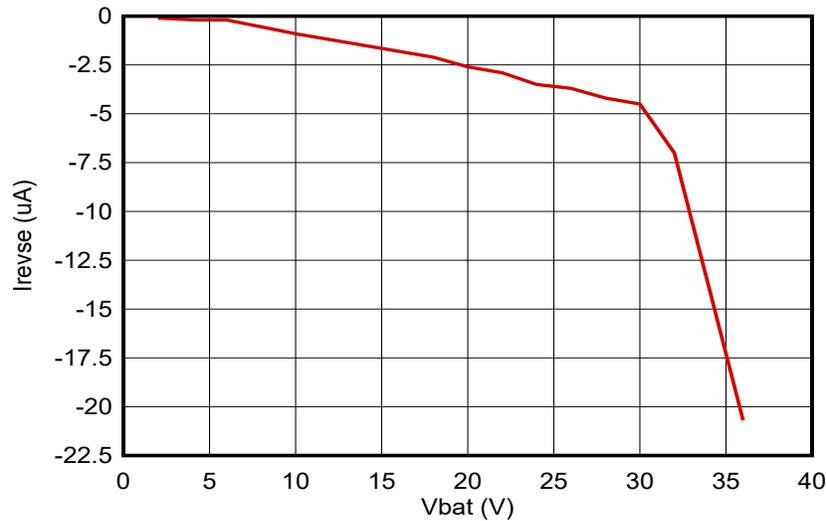


图 3-3. 输入电流与施加的负输入电压的关系

对于施加的正（正常极性）输入电压，图 3-4 显示了输入端的输入电流与施加的输入电压间的关系。对于标称 24V 电源电平，该设计的输入电流约为 120mA，包括 controlCARD 微控制器板。这表示在没有继电器主动驱动以及 CAN、RS-485、菊花链和以太网收发器空闲时的空闲电流。当施加的电压增至 36V 时，输入电流略有增加，但增幅不大。这表明连接到 VDC 的任何元件都不会发生击穿，因此该设计不会受到高达 36V 的稳态 VDC 电压的破坏。这种设计对电源系统中可能出现的负载突降情况具有很强的适应性。

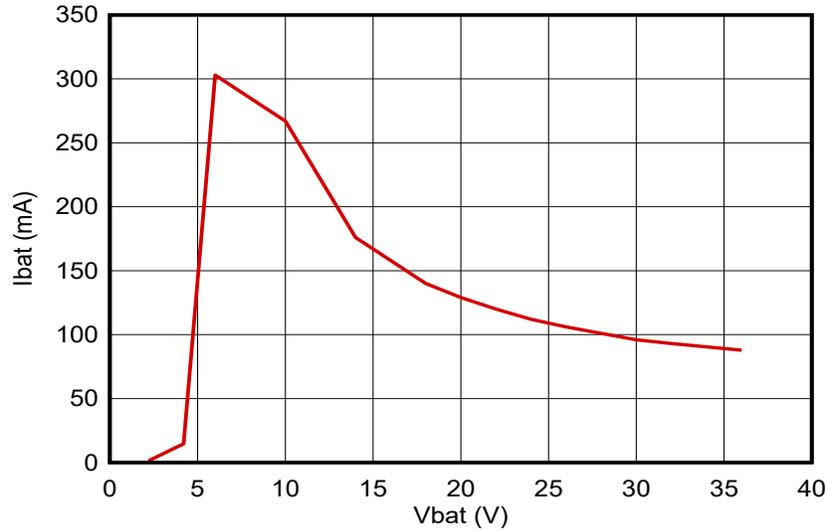


图 3-4. 输入电流与施加的正输入电压的关系

### 3.4.2 菊花链信号质量

该设计使用 BMU (TIDA-010271) 与 BCU 通信。测试点位于 BQ79600\_0 的 BCU COMH 端口中。示波器测量 COMP-COMN 以检查正脉冲宽度、负脉冲宽度、上升压摆率和下降压摆率。

图 3-5 至图 3-8 显示了菊花链了波形。

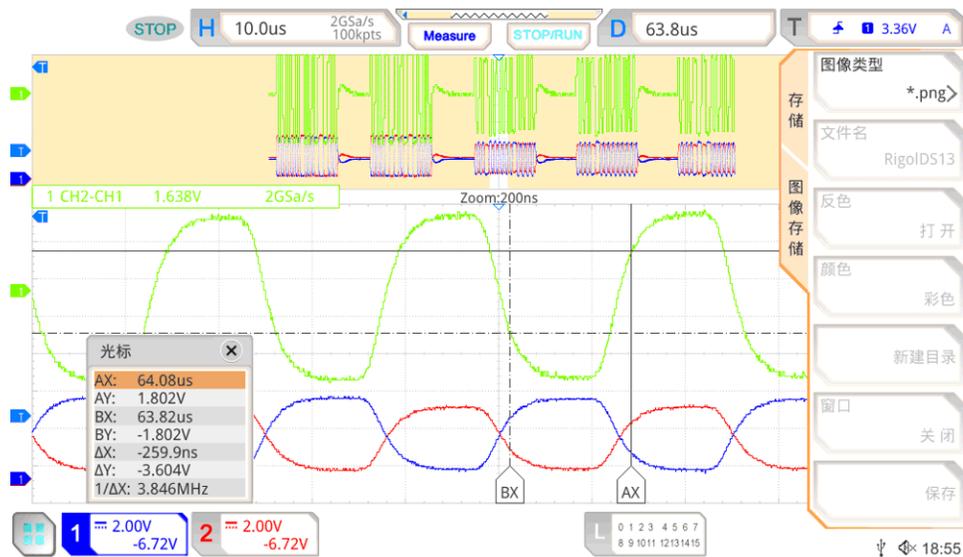


图 3-5. 菊花链的正脉冲宽度

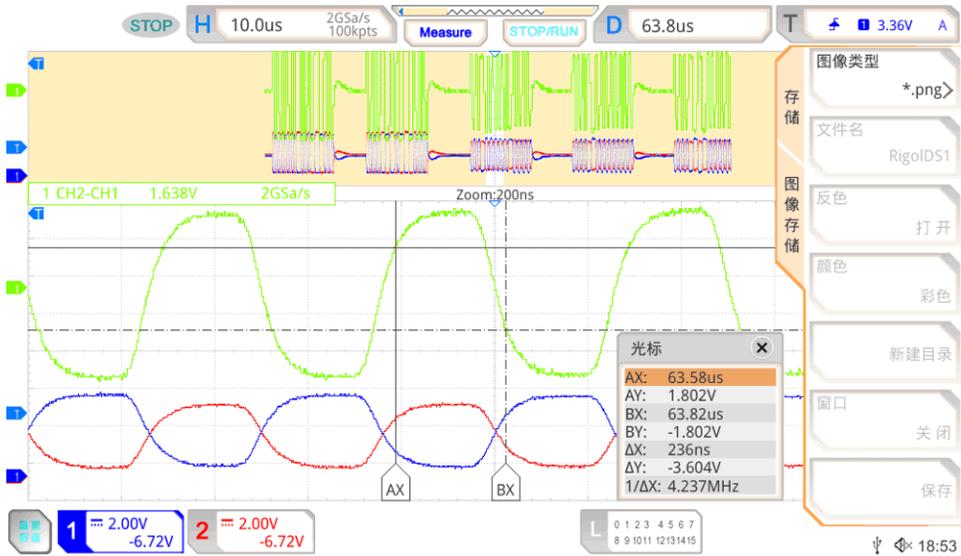


图 3-6. 菊花链的负脉冲宽度



图 3-7. 菊花链的上升压摆率

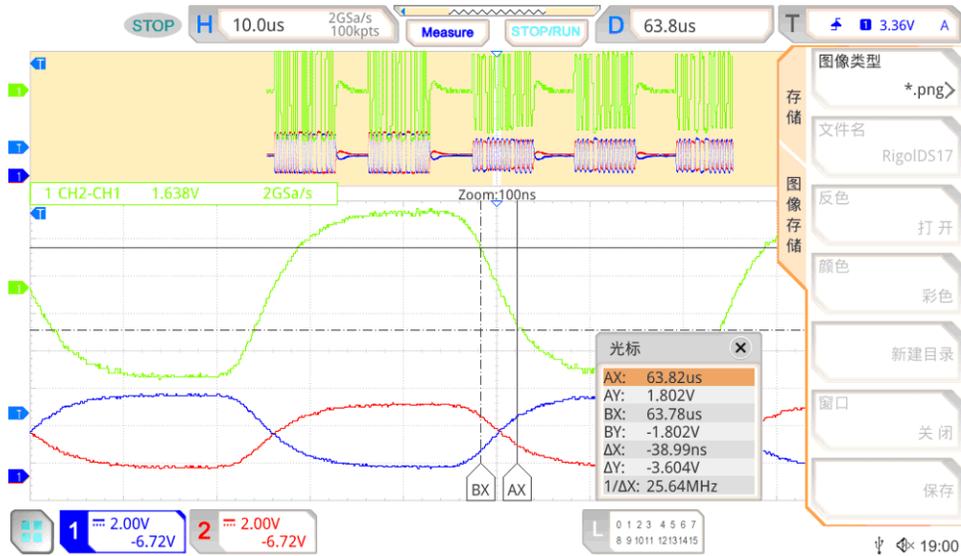


图 3-8. 菊花链的下降压摆率

表 3-18 列出了菊花链信号性能数据。

表 3-18. 菊花链信号性能

参数	条件	最小值	测试数据	最大值
正脉冲宽度	测量从 +1.8V 上升沿到 -1.8V 下一个下降沿的 COMP-COMN	230ns	260ns	270ns
负脉冲宽度	测量从 -1.8V 下降沿到 +1.8V 下一个上升沿的 COMP-COMN	230ns	236ns	270ns
上升压摆率	测量从 -1.8V 上升沿至 +1.8V 上升沿的 COMP-COMN		50ns	
下降压摆率	测量从 +1.8V 下降沿至 -1.8V 下降沿的 COMP-COMN		39ns	

### 3.4.3 继电器驱动

线圈驱动电路使用智能高侧开关 TPS4H160-Q1 的一个通道和 ULN2803 来实现单向驱动，如图 2-3 所示。为了测试此电路，使用带有节能器的高压继电器作为负载，EVC500 在表 3-19 中介绍。

表 3-19. 线圈数据

工作电压范围/VDC	23°C 时的浪涌电流/A	最大浪涌时间/ms	标称频率/kHz	标称占空比/%
9 - 36	3.8	130	19.9	20

图 3-9 显示了电流拾取期间信号的示波器图。通道 1 显示继电器线圈上的电压；通道 2 显示分流 (1.35 Ω) 电压，该电压对应于通过高侧开关到达继电器线圈和节能器的分流电流。最初，当节能器以 100% 占空比运行时，电流达到峰值，因此只有很小的反电动势电压。继电器触点闭合后，节能器以标称占空比运行。在电流拾取过程中，分流电压信号达到约 2.034V 的峰值。分流电压信号的比例因子约为分流电流的 1.35V/A，因此该信号指示峰值电流约为 1.507A。

MSO5152-E Wed September 27 11:09:32 2023

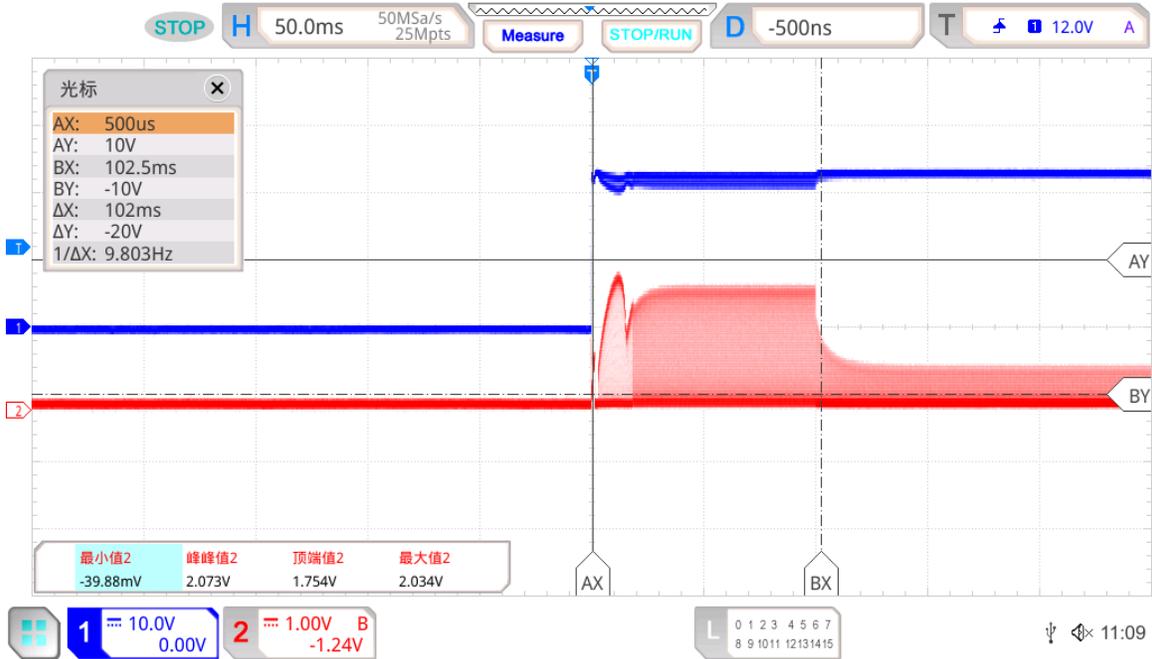


图 3-9. 电流拾取阶段

图 3-9 显示了电流信号的示波器图。通道 1 显示 TPS4H160B 的电流检测 (CS) 信号，该信号对应于通过高侧开关到达继电器线圈和节能器的电流。通道 2 显示分流电压。分流电压信号后面紧跟着 CS 信号。从 IN 下降沿到 TPS4H160 上升沿的 CS 信号设置时间最长为 150 μs，这会导致 CS 信号丢失实际分流电流的 PWM 部分。

MSO5152-E Wed September 27 12:41:57 2023



图 3-10. 电流测量性能

图 3-9 显示了继电器电流快速衰减阶段信号的示波器图。通道 1 显示继电器线圈上的电压；通道 2 显示分流电压。通道 1 上的电压降低，线圈电流开始降低。由于线圈的电感，线圈电流不会立即降低至零，而是随着线圈中存储的能量耗散而衰减。快速衰减过程持续 3.14ms。



图 3-11. 电流快速衰减阶段

TPS4H160-Q1 规定电感负载关断能量耗散、单脉冲、单通道的绝对最大值为 40mJ，因此每次继电器线圈关断时必须耗散的能量大大低于规定值。设计人员可以将 TPS4H160-Q1 用于此应用，无需与继电器线圈并联保护二极管，除非线圈明显大于用于测试的模型。

### 3.4.4 隔离式 CAN 收发器运行

图 3-12 展示了 CAN 发送器运行期间的信号。通道 1 是收发器 TXD 信号的输入，以大约  $1\ \mu\text{s}$  的位宽 (1Mbps) 改变状态。通道 2 是 CAN 总线信号 CANH-L，响应 TXD 信号。

在此刻度下，TXD 引脚上的转换与 CANH-L 引脚上的转换之间没有可观察到的延时时间。CAN 总线信号的受控斜率也很明显。

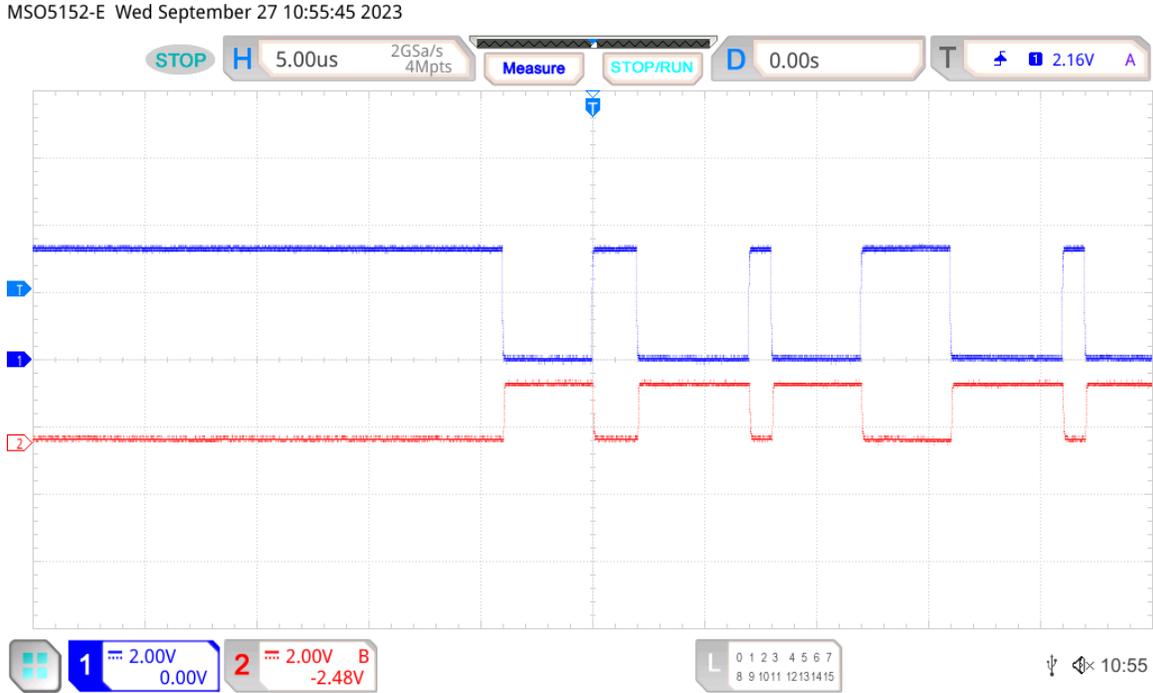


图 3-12. CAN 收发器运行信号

## 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-010253](#) 中的设计文件。

#### 4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010253](#) 的设计文件。

### 4.2 工具与软件

#### 工具

**USB2ANY** USB2ANY 接口适配器工具用于支持计算机通过 USB 连接控制评估模块 (EVM)。USB2ANY 支持多种常见的协议接口并提供 3.3V 和 5V 电源。

#### 软件

**CCSTUDIO** Code Composer Studio™ 集成式开发环境 (IDE)

### 4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[AM263x ControlCARD 硬件](#) 用户指南。
2. 德州仪器 (TI)，[驱动电动汽车和混合动力汽车中的高压接触器](#) 技术白皮书
3. 德州仪器 (TI)，[AN-2162：轻松抑制直流/直流转换器的传导 EMI](#) 应用手册
4. 德州仪器 (TI)，[LMR51440-CALC \(LMR51440\\_Quick\\_Start\\_Tool\\_Rev1.0.xlsm\)](#) 计算工具

### 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

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

Arm® is a registered trademark of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 5 作者简介

**JUNHUA YAN** 是 SEM 工业电网基础设施和电力传输团队的 TI 系统工程师。Junhua 专注于电池包和储能系统应用，并创造了多种设计来解决工业电池包设计难题。

## 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