

## Design Guide: TIDA-010279

## 面向储能系统的高达 1500V 可堆叠电池管理单元参考设计



## 说明

该参考设计是一种全面的电芯温度传感和高电芯电压精度锂离子 (Li-ion)、磷酸铁锂 (LiFePO4) 电池包 ( 52 芯 )。该设计可监控每个电芯的电压和电芯温度，并保护电池包以确保安全使用。该设计支持菊花链和控制器局域网 (CAN) 接口，用于高达 1500V 电池储能系统的可堆叠通信。得益于这些特性，该参考设计适用于高容量电池包应用。

## 资源

TIDA-010279

BQ78706、MSPM0G3519

TMUX1308、UCC33420

ISO7731、UCC33421-Q1

LMR51406、TCAN1044-Q1

设计文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

产品文件夹

## 特性

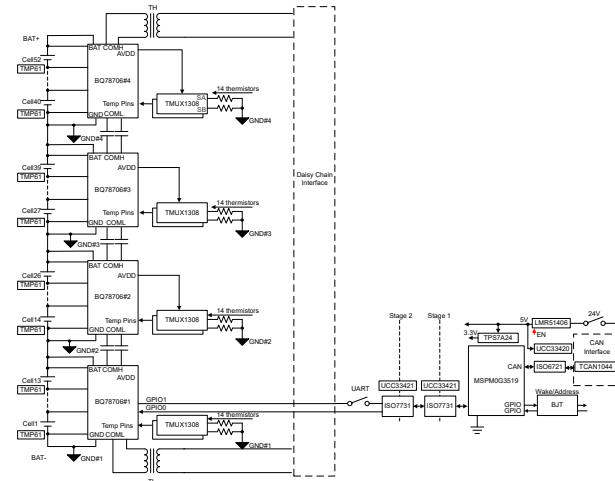
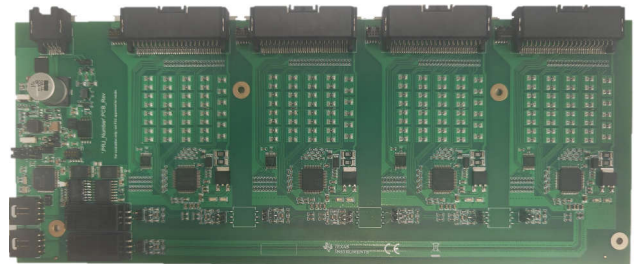
- -40°C 至 85°C 时的电压精度为  $\pm 2.5\text{mV}$ ，无需校准
- 通过多路复用器 (MUX) 实现全面的电芯温度检测
- 强大的可编程电池电芯和电池包保护
- 具有数据重新计时和环形架构的稳健菊花链通信
- 关断模式下为  $7\ \mu\text{A}$
- 通过菊花链和高达 1500V 的 CAN 接口支持堆叠式架构
- 与汇流条兼容或无汇流条连接

## 应用

- ESS - 电池管理系统 (BMS)



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



## 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。商业和工业以及电网 BESS 包含多个机架，每个机架都包含多个堆叠的电池包。住宅 BESS 仅包含电池包。

*电池包* 是构成 BESS 的基本模块。*电池包* 由串联和并联的电池电芯组成。电芯通道数量从 12 到 64 不等。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，因此设计人员必须监测并保护电池包级别中的电池电芯。

电池管理单元 (BMU) 是一种控制器，用于在整个生命周期内监控 *电池包* 中每个电池电芯的电压和温度。BMU 需要具备高测量精度来进行电压和温度监测。BMU 收集的信息将传输到机架级控制器电池控制单元 (BCU)，以进行安全和充电管理。BMU 和 BCU 之间还需要稳健且快速的通信。

出于安全、法规和成本方面的考虑，需要在 BESS 中使用磷酸铁锂电池。磷酸铁锂电池的充电或放电曲线在大约 85% 至 100% 的充电状态 (SOC) 范围内保持相当高的线性，但曲线在大约 10% 至大约 85% 的 SOC 范围内会突然发生斜率变化。在选择 BESS 设计中可接受的电压精度时，这一点非常重要。大多数情况下，测量精度需要为 3mV 至 5mV，以计算高 SOC 精度和宽放电深度 (DOD)。

对于通信接口，传统上广泛使用控制器局域网 (CAN) 来确保通信的稳健性。CAN 结构控制器需要一个微控制器单元 (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。

菊花链可以替代 CAN 设计。与 CAN 接口相比，BMU 中只需要几个变压器。因此，菊花链设计在成本上优于 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。绝缘要求还会提高成本，因为 BMU 和 BCU 通信接口之间所需的增强型绝缘要求采用数字隔离器和隔离式电源模块。

该设计侧重于大容量电池包应用，也适用于住宅、商业和工业、电网 BESS 等领域的应用。该设计使用四个 BQ78706 器件 ( 电池监测器、平衡器和集成硬件保护器 ) 来监测每个电芯的电压和 52 芯电池包的温度，并在电芯过压、电芯欠压和过热等情况下保护电池包。该设计包含八个采用 8:1 通用输入/输出 (GPIO) 扩展比的 TMUX1308 器件，可测量多达 52 节电芯。该设计使用内部电芯均衡 (CB) 来获得每个电芯通道的 100mA 均衡电流。

BQ78706 器件之间的板载通信采用电容隔离式菊花链。BMU 和 BMU 或 BCU 之间的非板载通信采用变压器隔离式菊花链。该设计还结合了 CAN 接口和 MCU 以实现可堆叠通信。

## 2 系统概述

该设计使用四个 BQ78706 器件来监测每个电芯的电压、监测 52 芯电池包的温度，以及保护电池包免受电芯过压、电芯欠压和过热等所有异常情况的影响。在图 2-1 中，顶部 BQ78706 器件是 BQ78706#4，而底部 BQ78706 器件是 BQ78706#1。正向菊花链通信方向是从 BQ78706#1 器件到 BQ78706#2 器件。

每个 BQ78706 都有 11 个用于温度检测的 GPIO 引脚和 14 个用于电压检测的 VC 引脚。要在 GPIO 引脚较少的情况下监测所有 VC 通道的温度，需要使用两个 TMUX1308 多路复用器。这些多路复用器将一个 BQ78706 的温度检测能力从 11 个通道扩展到 20 个通道，包括 14 个与多路复用相关的热敏电阻、2 个恒定电阻和 6 个独立热敏电阻。

要对 TMUX1308 运行诊断以防止多路复用器进入失效模式，将每个 TMUX1308 的一个通道连接到恒定电阻器。这个恒定电阻器超出了热敏电阻范围，可进行合理性检查。该诊断方法可以显示多路复用器是卡在特定通道上，还是报告与错误通道对应的电压。

BQ78706 上的 AVDD 引脚用于为 TMUX1308 供电。由于可通过将 RX 短接至 AVDD 来将 AVDD 配置为关断状态，因此可以实现低关断电流，并且不会对外部多路复用器件产生漏电流。当唤醒 BQ78706 时，AVDD 为所有外部负载提供 20mA 容量，这对于多路复用器或其他器件已足够。

内部被动电芯均衡电阻可支持每个通道高达 100mA 的均衡电流。可以使用奇数和偶数电芯均衡来实现平均 50mA 均衡电流。

为了隔离通信，该设计使用两个电容器来实现两个 BQ78706 之间的菊花链通信，并在 BMU 或 BCU 之间的菊花链通信中使用两个 1500V 增强型变压器。这个菊花链通信支持环形通信结构，可以减小菊花链通信引起的间隙电流。

除了菊花链外，此电路板中还设计了 CAN 接口和 MCU。MCU MSPM0G3519 用于从四个 BQ78706 器件收集数据并将数据传输至 CAN 总线。BQ78706 支持通过通用异步接收器/发送器 (UART) 接口或串行外设接口 (SPI) 连接至 MCU。此设计使用 UART。两级增强型隔离用于实现 UL1973 和 IEC 62477 所要求的 1500V 绝缘标准爬电距离。增强型隔离式电源模块为 UCC33421，数字隔离器为 ISO7731，用于在 BQ78706 和 MSPM0G3519 之间转换 RX、TX 和 FAULT 信号。为了提高 CAN 接口通信的稳定性，使用 ISO6721 和 UCC33420 实现功能绝缘。

电源轨使用 LM51406 从最大 36VDC 转换为稳定的 5VDC，然后将 5V 电压输入到隔离式电源模块。

## 2.1 方框图

图 2-1 展示了系统方框图。

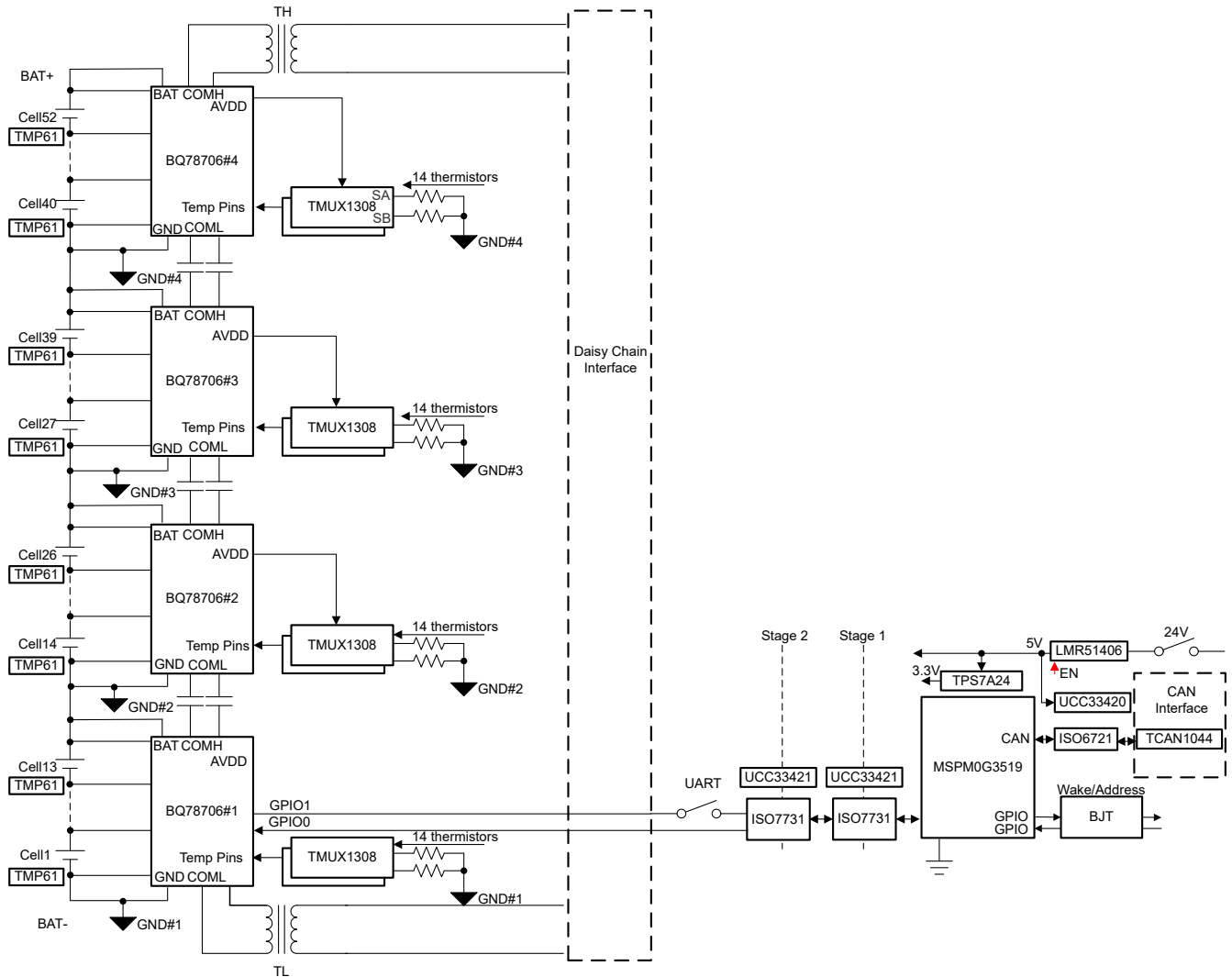


图 2-1. TIDA-010279 BMU 方框图

## 2.2 设计注意事项

### 2.2.1 多路复用器网络和开关策略

图 2-2 展示了读取所有热敏电阻和电芯电压的策略。使用两个 TMUX1308 器件将 14 个热敏电阻和 2 个恒定电阻 TS\_R1 和 TS\_R2 多路复用到一个 BQ78706。BQ78706 使用三个 GPIO ( GPIO9、GPIO10 和 GPIO11 ) 来对 TMUX1308 的 8 个热敏电阻通道进行寻址，并使用 2 个 GPIO ( GPIO7 和 GPIO8 ) 来从 2 个 TMUX1308 器件读取公共输出引脚。这意味着 5 个 GPIO 可以开关 16 个热敏电阻。

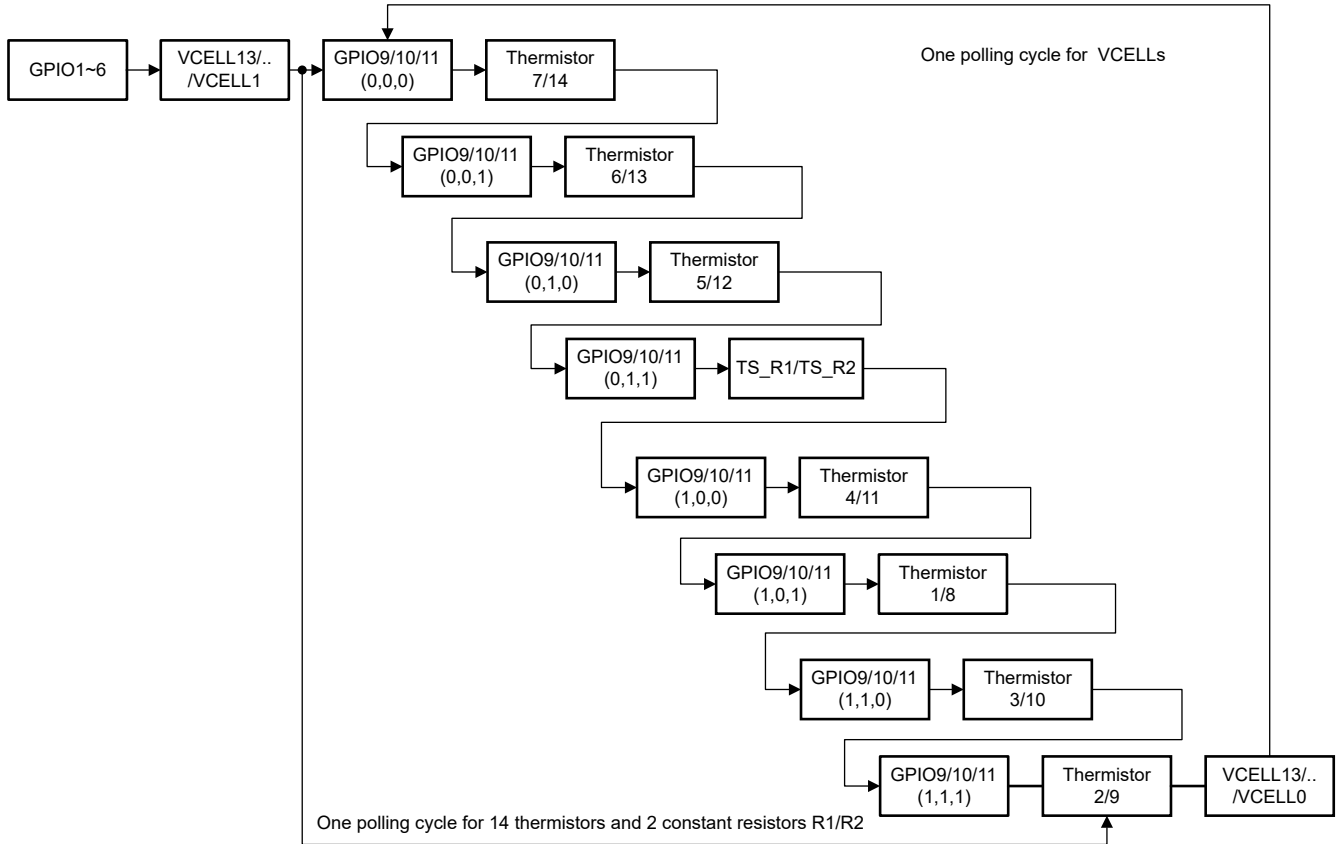


图 2-2. 读取所有热敏电阻和电芯电压的策略

尽管可以使用 TMUX1308 或其他多路复用器轻松增加热敏电阻的数量，但系统仍需要高效的开关策略，以在法规规定的安全时间内连接所有热敏电阻。

热敏电阻开关的循环包括对所有堆叠的 BQ78706 GPIO9 至 GPIO11 进行广播写入，以及对配置为 ADC 和 OTUT 输入 (比例式) 的 GPIO7 和 GPIO8 进行广播读取。该设计需要 8 个循环来从 14 个热敏电阻和 2 个恒定电阻读取温度数据。

如果 BESS 机架电压为 1500V，并且一个机架由 416 个串联电池组成，则使用 8 个 BMU ( 32 个 BQ78706 器件 ) 来监控所有电池电芯。执行一个循环来从堆叠的 BQ78706 器件读取温度数据所需的时间较长，这可能符合 GBT34131-2023 标准 (所有热敏电阻的工作周期均为 1s)。

## 2.2.2 电芯均衡

图 2-3 展示了电芯均衡电路。

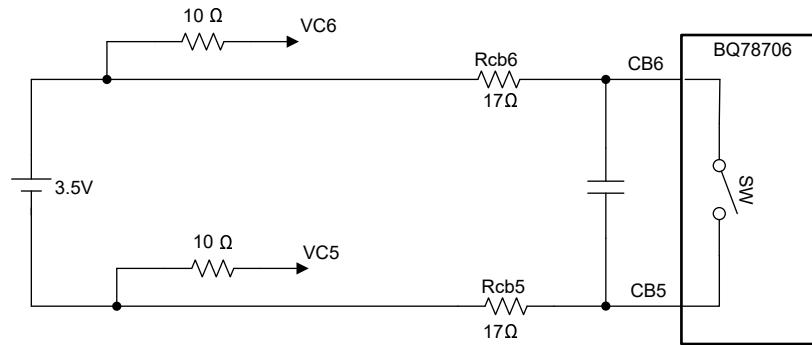


图 2-3. 电芯均衡电路

该设计使用内部场效应晶体管 (FET) 来实现 100mA 均衡电流。假设在给定条件下：初始 CB 电压为 3.5V，最终 CB 电压为 3.3V。为了在 CB 电压为 3.5V 时实现 100mA 均衡电流；使用  $R_{cb6} = R_{cb5} = 17\Omega$ 。

## 2.2.3 堆叠式 AFE 通信

对于电芯数量非常多的系统，BQ78706 器件可以串联堆叠来监测电池电芯。该设计使用四个 BQ78706 器件来监测多达 52 个电池电芯。BQ78706 监控 13 节串联电池电芯，并将 13 节电池组顶部电压作为接地基准。需要进行隔离，才能在每个 BQ78706 器件之间通信。该设计在两个 BQ78706 器件之间使用电容隔离式菊花链，并将变压器隔离式菊花链连接到非板载 BMU 或 BCU。BMU 旨在支持正向和反向通信。从底部 BQ78706 到顶部 BQ78706 的通信方向为正向（北）。从顶部 BQ78706 到底部 BQ78706 的通信方向为反向（南）。图 2-4 展示了 BMU 的环网通信。

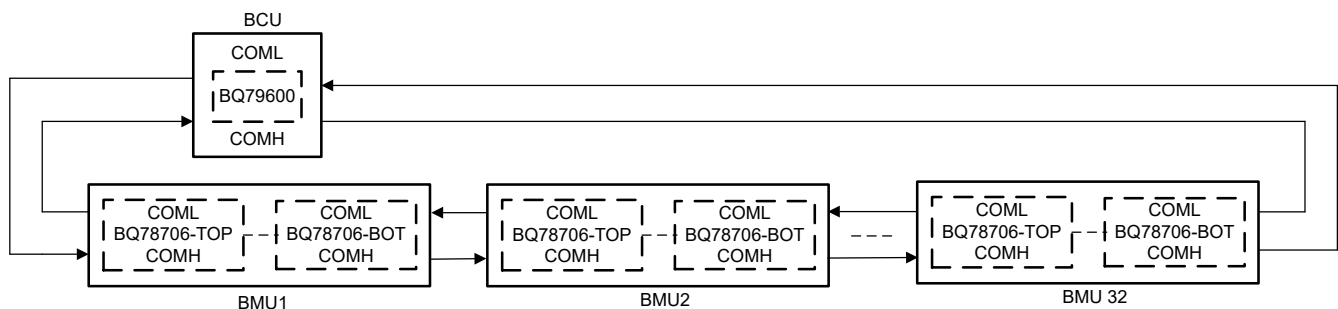


图 2-4. BMU 环网通信

BCU 使用 UART 向 BQ79600 发出 ping。Ping 是用于唤醒和关断等简单操作的非通信信号。命令用于传输数据。BQ79600 能够在在一个占空比内按南北方向从与堆叠的 BQ78706 接收音调并向其发送音调。考虑到 GBT34131-2023 标准，电压周期需要小于 100ms，温度周期需要小于 1 秒。

## 2.2.4 MCU 和 CAN 接口

MCU 和 CAN 接口是替代菊花链的可选选择。CAN 接口是广泛使用的标准接口。MCU MSPM0G3519 将数据从 AFE1、AFE2、AFE3 和 AFE4 传输到 CAN 接口。AFE1 用作桥接器件。ISO7731 用于连接 AFE1 的 UART 接口和 MCU。由于 MCU 处于低压接地状态，而 AFE1 处于高压接地状态，因此需要增强型绝缘。使用 UCC33421 和 ISO7731 构建了两个隔离级。每级均具有 1500V 的工作电压，两级串联可满足 15mm 爬电距离。

由于 BQ78706 的 TX 引脚在关断和活动模式下均提供恒定电压，因此当 ISO7731 的 BQ78706 关断模式直接连接到 BQ78706 时，ISO7731 由输入 (TX) 供电。在 BQ78706 和 ISO7731 之间添加了一个开关来防止漏电流。开关可以是 FET。

图 2-5 展示了 MCU 和 CAN 接口。

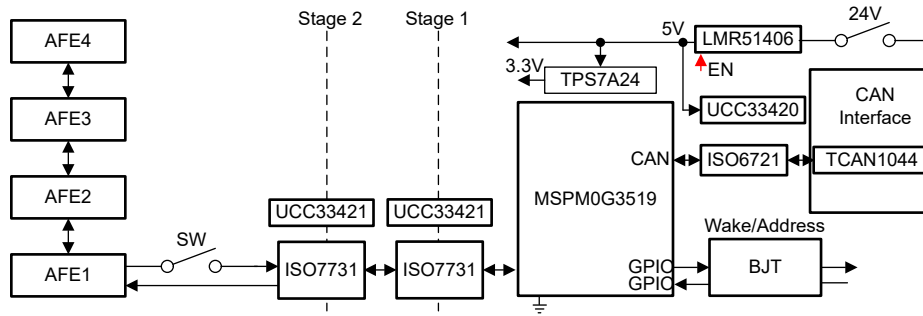


图 2-5. MCU 和 CAN 接口

UCC33420 和 ISO6721 为 CAN 接口提供功能隔离。这个 CAN 接口通常连接到 BCU 的 CAN 总线。CAN 收发器 (如 TCAN1044) 的工作电流非常小。为实现更高效率, 为 CAN 收发器而不是为 MCU 设置功能隔离。

## 2.3 主要产品

### 2.3.1 BQ78706

BQ78706 可为储能系统 (ESS) 和移动式发电站 (PPS) 的高压电池管理系统中高达 14 节串联的电池模块提供高精度的电芯电压测量。该器件具有先进的 ADC 架构, 测量系统满足严格的安全要求。该器件通过变压器 (或电容器) 隔离菊花链, 适用于住宅、商业或电网规模储能系统的集中式或分布式架构。

### 2.3.2 TMUX1308

TMUX1308-Q1 和 TMUX1309-Q1 为通用互补金属氧化物半导体 (CMOS) 多路复用器 (MUX)。TMUX1308-Q1 是 8:1、单通道 (单端) 多路复用器, 而 TMUX1309-Q1 是 4:1 双通道 (差分) 多路复用器。这些器件可支持源极 (Sx) 和漏极 (Dx) 引脚上 GND 到 VDD 范围的双向模拟和数字信号。

TMUX13xx-Q1 器件具有内部注入电流控制功能, 从而无需外部二极管和电阻器网络 (通常用于保护开关并使输入信号保持在电源电压范围之内)。内部注入电流控制电路允许禁用信号路径上的信号超过电源电压, 而不会影响启用信号路径的信号。此外, TMUX13xx-Q1 器件没有到电源引脚的内部二极管路径, 从而消除了损坏连接到电源引脚的元件或为电源轨提供意外电源的风险。

所有逻辑输入均具有兼容 1.8V 逻辑的阈值, 在有效电源电压下运行时, 这些阈值可确保晶体管-晶体管逻辑 (TTL) 和 CMOS 逻辑兼容性。失效防护逻辑电路允许先在控制引脚上施加电压, 然后在电源引脚上施加电压, 从而保护器件免受潜在的损害。

### 2.3.3 TCAN1044-Q1

TCAN1044-Q1 是一款高速控制器局域网 (CAN) 收发器, 符合 ISO 11898-2:2016 高速 CAN 规范的物理层要求。

TCAN1044-Q1 收发器支持传统 CAN 和 CAN FD 网络, 数据速率高达 8 兆位/秒 (Mbps)。TCAN1044-Q1 包括通过 VIO 端子实现的内部逻辑电平转换功能, 允许将收发器 I/O 直接连接到 1.8V、2.5V、3.3V 或 5V 逻辑 I/O。此类收发器支持低功耗待机模式, 并且可通过符合 ISO 11898-2:2016 所定义唤醒模式 (WUP) 的 CAN 来唤醒。

TCAN1044-Q1 收发器还包括保护和诊断功能, 支持热关断 (TSD)、TXD 显性超时 (DTO)、电源欠压检测和高达  $\pm 58V$  的总线故障保护。

### 2.3.4 MSPM0G3519

MSPM0Gx51x 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。这些 MCU 为需要采用小型封装 (低至 5mm x 5mm) 或高引脚数封装 (高达 100 个引脚) 的 256KB 至 512KB 闪存存储器的应用同时提供了成本优化和设计灵活性。这些器件包括双 CAN-FD 控制器、网络安全机制和高性能集成模拟, 并在整个工作温度范围内提供出色的低功耗性能。

这些器件提供具有内置纠错码 (ECC) 且高达 512KB 的嵌入式闪存程序存储器, 以及高达 128KB 的 SRAM (第一个 64KB 具有 ECC 和奇偶校验保护功能)。闪存存储器分为两个主要存储体, 用于支持现场固件更新, 并支持在两个主要存储体之间进行地址交换。

可以使用灵活的网络安全机制来支持安全启动、安全的现场固件更新、IP 保护（仅执行存储器）、密钥存储等。针对多种 AES 对称密码模式以及 TRNG 熵源提供了硬件加速。网络安全架构正等待 Arm® PSA 1 级认证。

提供了一组高性能模拟模块，如两个同步采样的 12 位 4Msps ADC（支持多达 27 个外部通道）、片上电压基准（1.4V 或 2.5V）、一个 12 位 1Msps DAC 和三个高速比较器（内置 8 位基准 DAC，可在低功耗和高速模式下运行）。

TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，可让客户找到满足工程需求的 MCU。MSPM0 MCU 平台将 Arm® Cortex®-M0+ 平台与超低功耗整体系统架构相结合，使系统设计人员能够在降低能耗的同时提高性能。

### 2.3.5 LMR51406

LMR514xx 是一款简单易用的宽  $V_{IN}$  同步降压转换器，能够驱动高达 0.6A 和 1A 的负载电流。该器件具有 4V 至 42V 的宽输入范围，适用于从非稳压源进行电源调节的各种工业应用。

LMR514xx 以 400kHz 和 1.1MHz 的开关频率运行，支持使用较小的电感器来降低设计尺寸。LMR514xx 的 PFM 版本可在轻负载时实现高效率，FPWM 版本可在整个负载范围内实现恒定频率和低输出电压纹波。通过在内部实现软启动和补偿电路，可更大限度地减少器件所用的外部元件。

该器件内置保护功能，例如逐周期电流限制、断续模式短路保护以及功耗过大情况下的热关断功能。

### 2.3.6 ISO7731

ISO773x 器件是高性能三通道数字隔离器，可提供符合 UL 1577 的 5000V<sub>RMS</sub>（DW 封装）和 3000V<sub>RMS</sub>（DBQ 封装）隔离额定值。

该系列包含的器件具有符合 VDE、CSA、TUV 和 CQC 标准的增强绝缘等级。ISO7731B 器件专为仅需要基本绝缘额定值的应用而设计。

在隔离 CMOS 或 LVCMOS 数字 I/O 时，ISO773x 系列器件可提供高电磁抗扰度和低辐射，并具备低功耗特性。每条隔离通道的逻辑输入和输出缓冲器均由双电容二氧化硅（SiO<sub>2</sub>）绝缘栅相隔离。该器件配有使能引脚，可用于将各自输出置于高阻态以适用于多控制器驱动应用中，并降低功耗。

ISO7730 器件具有三条正向通道，而 ISO7731 器件具有两条正向通道和一条反向通道。如果输入功率或信号丢失，不带后缀 F 的器件默认输出高电平，带后缀 F 的器件默认输出低电平。

此系列器件与隔离式电源结合使用，有助于防止数据总线（例如 RS-485、RS-232 和 CAN）或者其他电路上的噪声电流进入本地接地以及干扰或损坏敏感电路。凭借出色的芯片设计和布线技术，ISO773x 器件的电磁兼容性得到了显著增强，可缓解系统级 ESD、EFT 和浪涌问题并符合辐射标准。ISO773x 系列器件采用 16 引脚小外形尺寸集成电路（SOIC）和 QSOP 封装。

### 2.3.7 UCC33420

UCC33420 是一款采用集成变压器技术的工业直流/直流电源模块，可提供 1.5W 的隔离式输出功率。该器件可支持 4.5V 至 5.5V 的输入电压工作范围，并可通过 5.5V 的可选余量调节 5.0V 输出电压。

UCC33420 具有专有变压器架构，可实现 3kV<sub>RMS</sub> 隔离额定值，同时支持低 EMI 和出色的负载调节。

UCC33420 集成了保护特性以提高系统稳健性，例如具有故障报告机制的使能引脚、短路保护和热关断功能。

UCC33420 采用小型化、薄型设计 VSON（4.00mm x 5.00mm）封装，高度为 1.00mm，爬电距离和间隙大于 4.1mm。

### 2.3.8 UCC33421

UCC33421-Q1 是一款采用集成变压器技术且符合汽车标准的直流/直流电源模块，可提供 1.5W 的隔离式输出功率。该器件支持 4.5V 至 5.5V 的输入电压工作范围，并可通过 5.5V 的可选余量调节 5.0V 输出电压。

UCC33421-Q1 具有专有变压器架构，可实现 5kV<sub>RMS</sub> 隔离额定值，同时支持低 EMI 和出色的负载调节。

UCC33421-Q1 集成了保护特性以提高系统稳健性，例如具有故障报告机制的使能引脚、短路保护和热关断功能。



UCC33421-Q1 采用小型化、薄型设计 SOIC (5.85mm x 7.50mm) 封装，高度为 2.65mm，爬电距离和间隙大于 8.2mm。

### 2.3.9 TMP61

[热敏电阻设计工具](#)提供了电阻与温度关系表 ( R-T 表 ) 的完整计算，以及用于产生温度和示例 C 代码的其他有用方法。

**TMP61** 线性热敏电阻可在整个温度范围内提供线性度和始终如一的灵敏度，支持使用简单而准确的方法进行温度转换。该器件的低功耗和较小的热质量可充分减小自发热。

这些器件具有内置的高温失效防护性能以及对环境变化的强大抵抗力，设计用于长寿命的高性能应用。**TMP6** 系列器件外型小巧，可靠近热源放置，并具有快速响应时间。

与 **NTC** 热敏电阻相比，它具有以下优点：无需额外的线性化电路、更大程度减少校准工作量、电阻容差变化更小、高温下灵敏度更高以及可节省时间和内存的简化转换方法。

**TMP61** 目前采用 0402 X1SON 封装、0603 SOT-5X3 封装，以及 2 引脚穿孔式 TO-92S 封装。

### 3 硬件、测试要求和测试结果

TIDA-010279 的关键性能在 TI 实验室进行了测试。本节介绍了使用的终端设备以及测试过程和结果。表 3-5 介绍了 TIDA-010271 电路板的硬件连接。

**表 3-1. 电池连接器 J2 - n (n = 1、2、3、4)**

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J2-An - 1	RTN_MUX2	热敏电阻的负极端子
J2-An - 21	TS1	热敏电阻 1 的正极端子
J2-An - 2	TS2	热敏电阻 2 的正极端子
J2-An - 22	TS3	热敏电阻 3 的正极端子
J2-An - 3	TS4	热敏电阻 4 的正极端子
J2-An - 23	TS5	热敏电阻 5 的正极端子
J2-An - 4	TS6	热敏电阻 6 的正极端子
J2-An - 24	TS7	热敏电阻 7 的正极端子
J2-An - 5	TS8	热敏电阻 8 的正极端子
J2-An - 25	RTN_MUX1	热敏电阻的负极端子
J2-An - 26	TS9	热敏电阻 9 的正极端子
J2-An - 6	TS10	热敏电阻 10 的正极端子
J2-An - 27	TS11	热敏电阻 11 的正极端子
J2-An - 7	TS12	热敏电阻 12 的正极端子
J2-An - 28	TS13	热敏电阻 13 的正极端子
J2-An - 8	TS14	热敏电阻 14 的正极端子
J2-An - 10	Module_N	BQ78706 接地
J2-An - 31	CELL0	CELL1 的负极端子
J2-An - 11	CELL1	CELL1 的正极端子
J2-An - 32	CELL2	CELL2 的正极端子
J2-An - 12	CELL3	CELL3 的正极端子
J2-An - 33	CELL4	CELL4 的正极端子
J2-An - 13	CELL5	CELL5 的正极端子
J2-An - 34	CELL6	CELL6 的正极端子
J2-An - 14	CELL7	CELL7 的正极端子
J2-An - 35	CELL8	CELL8 的正极端子
J2-An - 15	CELL9	CELL9 的正极端子
J2-An - 36	CELL10	CELL10 的正极端子
J2-An - 16	CELL11	CELL11 的正极端子
J2-An - 37	CELL12	CELL12 的正极端子
J2-An - 17	CELL13	CELL13 的正极端子
J2-An - 38	CELL14	CELL14 的正极端子
J2-An - 18	CELL15	CELL15 的正极端子
J2-An - 39	CELL16	CELL16 的正极端子
J2-An - 19	CELL17	CELL17 的正极端子
J2-An - 40	CELL18	CELL18 的正极端子
J2-An - 20	Module_P	BQ78706 电源

表 3-2 列出了菊花链 (COMH) 连接器信息。

表 3-2. 菊花链 (COMH) 连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J8-3	BMU_COMMH_P	COM 高侧正极
J8 - 4	BMU_COMMH_P	COM 高侧负极

表 3-3 展示了菊花链 (COML) 连接器信息。

表 3-3. 菊花链 (COML) 连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J7 - 1	BMU_COMML_N	COM 低侧负极
J7 - 2	BMU_COMML_P	COM 低侧正极

表 3-4 详细说明了 CAN 和电源接口功能。

表 3-4. CAN 和电源接口

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J5 - 1	PGND	CAN 接口的 GND
J5 - 2	BMU_WAKEOUT_C	BMU 唤醒输出
J5 - 3	CAN0_CANH	CAN 高电平
J5 - 4	CAN0_CANL	CAN 低电平
J5 - 5	LV24V	CAN 接口的电源
J5 - 6	BMU_WAKEIN_C	BMU 唤醒输入
J5 - 7	CAN0_CANL	CAN 高电平
J5 - 8	CAN0_CANH	CAN 高电平

### 3.1 硬件要求

表 3-5 汇总了用于测试的设备。

表 3-5. 测试设备汇总

设备	型号或说明
万用表	Agilent® 34401A
电池模拟器	TZ1104
USB2ANY	TI HAP655
逻辑分析仪	Kingst® LA5016

首次调试电路板时，建议使用 [Battery Management Studio \(bqStudio\)](#) 软件。

### 3.2 测试设置

运行此设计板之前，请执行以下程序。该设计采用 52 芯串联电池包配置。该电路板使用 24 节串联电池模拟器进行了测试来以模拟整个电池包。使用了 13 个电池仿真器通道，每个通道通过四根电缆与 BQ78706#1、BQ78706#2、BQ78706#3 和 BQ78706#4 连接器中的电芯电压输入端子分开。

图 3-1 展示了菊花链的 BMU 测试设置及其精度。

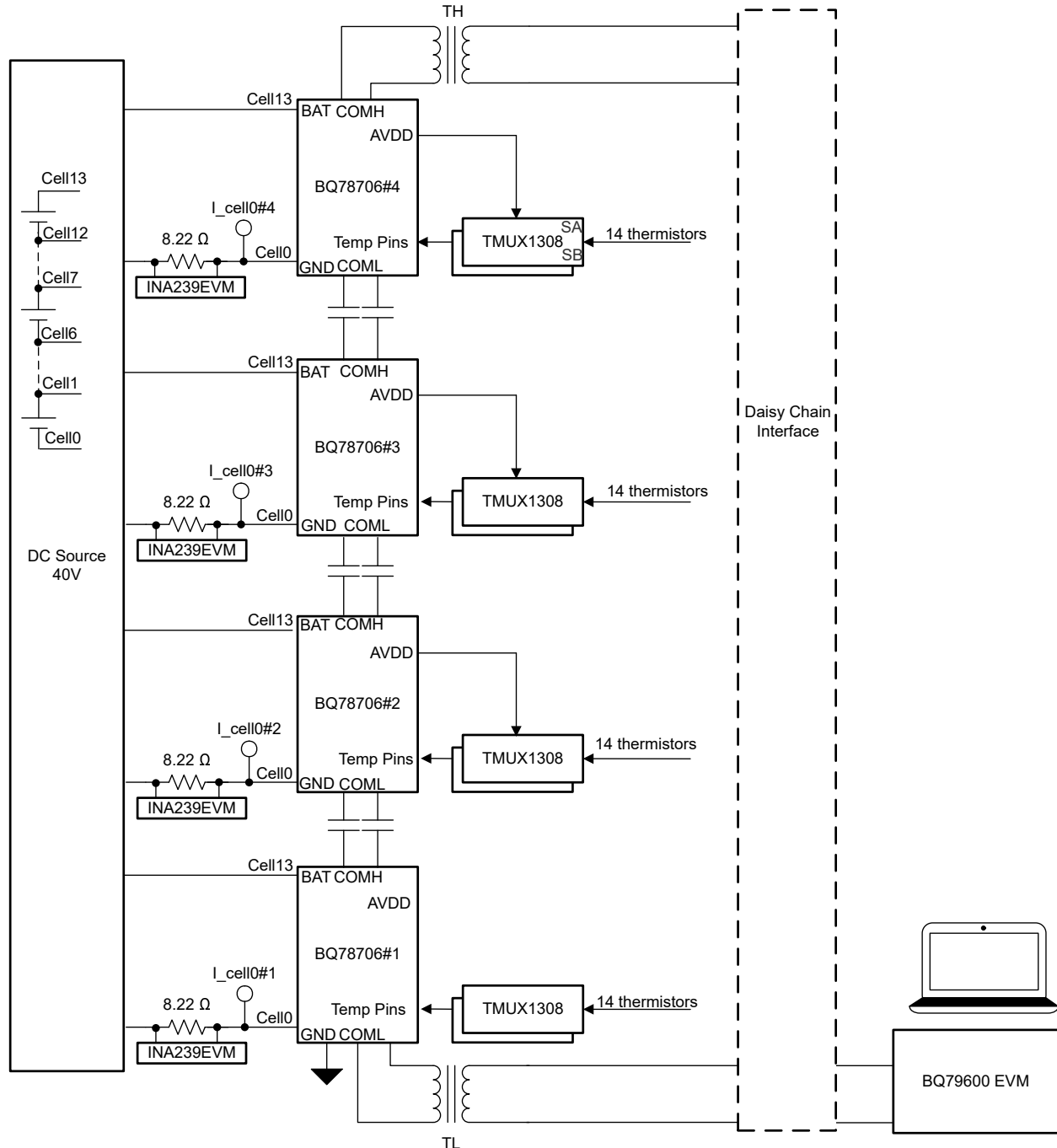


图 3-1. 菊花链的 BMU 测试设置和精度

### 3.3 测试结果

#### 3.3.1 菊花链

此设计测试 BQ76900-Q1 COMHP-COMHN 和 BQ78706#1 COMLP-COMLN 响应帧菊花链波形。

表 3-6 展示了 BQ76900-Q1 测试结果。表 3-7 展示了 BQ78706#1 测试结果。表中的 MIN 和 MAX 参数是测量标准。表 3-6 展示了正脉冲宽度、负脉冲宽度、上升压摆率、下降压摆率均符合标准。

表 3-6. BQ76900-Q1 COMHP-COMHN 测试结果

参数	条件	最小值标准	测试结果	最大值标准
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	252ns	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	260ns	270ns
上升压摆率	测量从 -1.8V 上升沿至 +1.8V 上升沿的 COMP-COMN		12ns	90ns
下降压摆率	测量从 +1.8V 下降沿至 -1.8V 下降沿的 COMP-COMN		12ns	90ns

表 3-7. BQ78706 COMLP-COMLN 测试结果

参数	条件	最小值标准	测试结果	最大值标准
正脉冲宽度	测量从 +1.2V 上升沿到 -1.2V 下一个下降沿的 COMP-COMN	230ns	252ns	270ns
负脉冲宽度	测量从 -1.2V 下降沿到 +1.2V 下一个上升沿的 COMP-COMN	230ns	253ns	270ns
上升压摆率	测量从 -1.2V 上升沿至 +1.2V 上升沿的 COMP-COMN		19ns	60ns
下降压摆率	测量从 +1.2V 下降沿至 -1.2V 下降沿的 COMP-COMN		20ns	60ns

#### 3.3.2 电芯电压精度

由于 BQ78706 在 -40°C 至 125°C 下已实现  $\pm 2.4\text{mV}$  的精度，因此该设计不执行任何校准来进一步提高电池电压精度。磷酸铁锂电芯的典型电压范围为 2.5V (0% SOC) 至 3.6V (100% SOC)，因此该设计中使用电池模拟器提供 2.5V 至 3.6V 的电芯电压，以验证 BMU 的 VCELL 精度。

在 22.7°C 的室温下，BQ78706#1 所有电芯通道的最大误差为 0.7mV。图 3-2 展示了电芯电压精度。

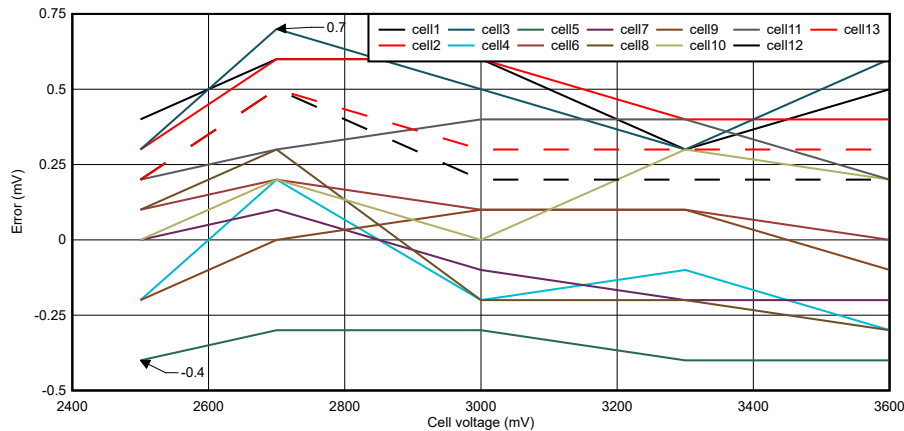


图 3-2. 电芯电压精度

#### 3.3.3 使用 TMP61 进行温度检测

使用四个 TMP61 热敏电阻来验证 BMU 温度检测功能。本节重点介绍如何使用 TMP61 通过 BQ78706 测量温度。

在此设计中，GPIO1 至 GPIO8 配置为 ADC 和 OTUT 输入（比例式）。通过 10kΩ 上拉电阻器将 GPIO3 至 GPIO6 连接到 TMP61。以 GPIO3 为例，RT3 是连接到 GPIO3 的 TMP61 的电阻，RATIO3 是 GPIO3\_RATIO 读取数据，R<sub>pull</sub> 是 10kΩ 上拉电阻，T3 是 TMP61 的温度检测。使用方程式 1 计算 RT3。

$$RT3 = \frac{RATIO3}{1 - RATIO3} \times R_{pull} \quad (1)$$

TMP61 提供四阶多项式 TMP。使用[方程式 2](#) 计算 T3。

$$T3 = A4 \times RT3^4 + A3 \times RT3^3 + A2 \times RT3^2 + A1 \times RT3 + A0 \quad (2)$$

其中

- $A0 = -2.720252E+02$  ,  $A1 = 5.256220E - 02$  ,  $A2 = -3.442327E - 06$  ,  
 $A3 = 1.370186E - 10$  ,  $A4 = -2.227207E-15$

在测试中，BQ78706 GPIO3 读取数据为 47.79%。相应的 RT3 为 9916.35  $\Omega$ 。温度 T3 为 22.8°C。有关 TMP61 测量的精度，请参阅 TMP61 [热敏电阻设计工具](#)。

### 3.3.4 温度检测时序

此测试使用一个 BMU 和 BQ79600 EVM。图 3-3 中提供了 BQ78706#1 的测试点，包括 GPIO7、GPIO9、GPIO10、GPIO11 和 COMLP。温度检测测试软件执行图 2-2 中的步骤。

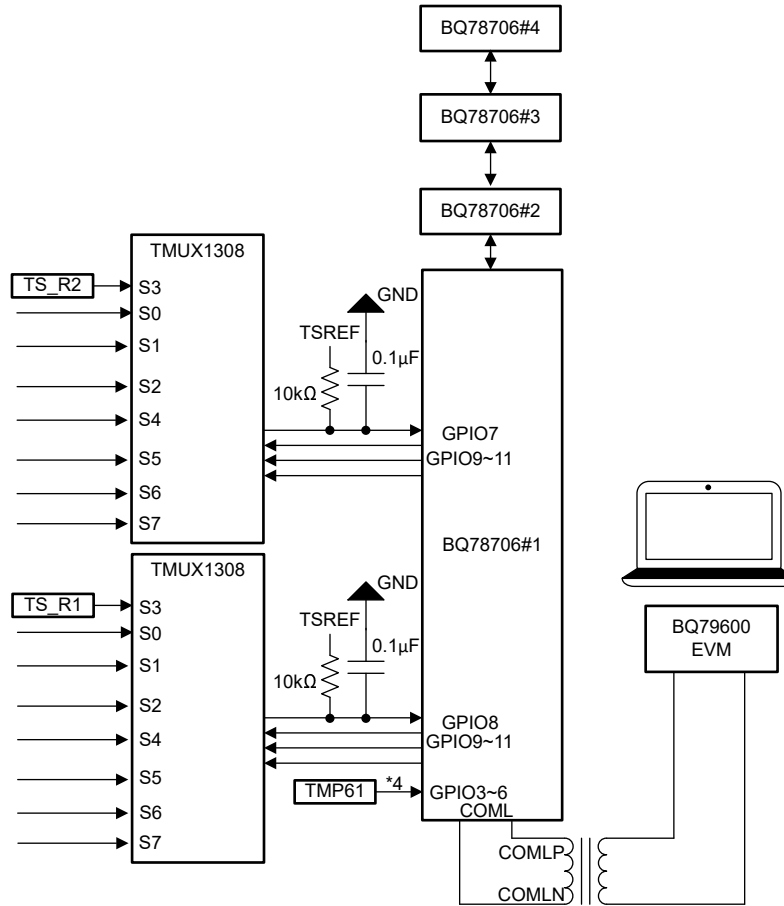


图 3-3. 温度检测的测试设置

图 3-4 展示了多路复用器的温度检测时序。

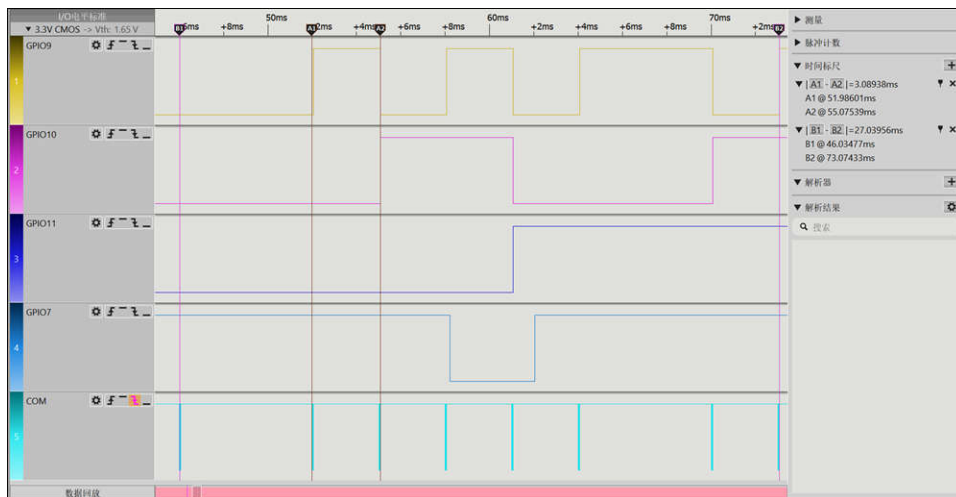


图 3-4. 多路复用器的温度检测时序

该测试需要八个步骤来读取所有热敏电阻和电压。每个步骤包含一个用于设置 TMUX1308 的广播写入，以及从堆叠 BMU 的所有 BQ78706 器件中对 GPIO7 和 GPIO8 的广播读取。为了清楚地展示每个步骤的过程，不使用读取命令。仅使用写入命令来选择从 S0 至 S8 的 TMUX1308 通道。在通道 S3 中连接 RS\_R2，并具有  $1k\Omega$  的小电阻，逻辑分析仪可以将其识别为信号 0。在图 3-5 中，8 个步骤逐个传输，从步骤 0 到步骤 7 的持续时间为 27.07ms。此过程表明，八个 TMUX1308 状态传输可以正常工作。

当切换多路复用器通道时，必须考虑稳定时间。在此设计中，滤波电容器为  $0.1\mu F$ ，上拉电阻器为  $10k\Omega$ 。当通道 S3 切换到 S4 时，GPIO7 的电压从 0.455V 变为 5V。电路的恒定时间为 1ms，GPIO7 电压需要至少 9ms 才能在 1mV 变化范围内保持稳定。图 3-3 展示了 GPIO7 多路复用器电压稳定波形。

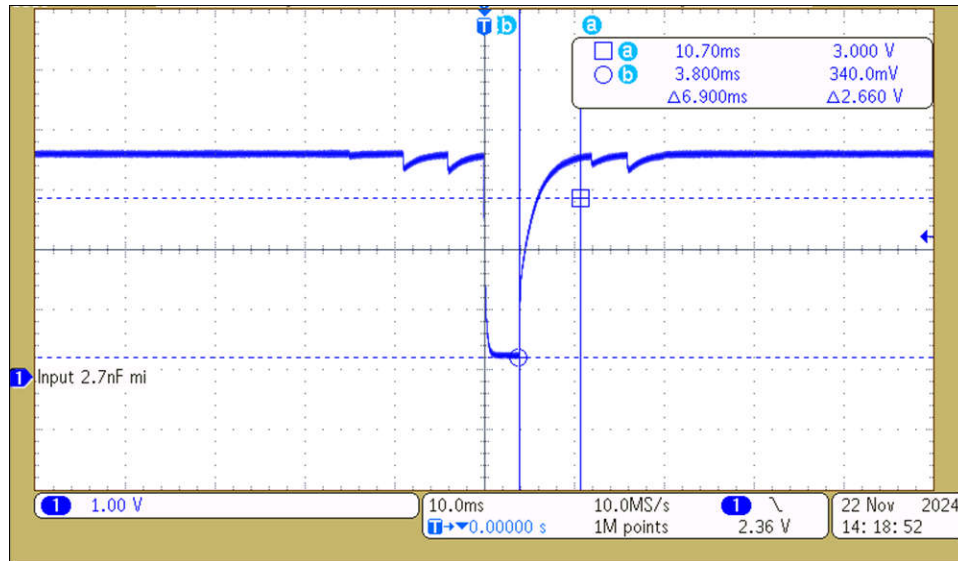


图 3-5. 多路复用器电压稳定波形



### 3.3.5 电芯均衡和热性能

该测试使用电池模拟器在室温 (22.7°C) 和 3.5V 电芯电压下测试 BMU 的底部 BQ78706 器件。测试中使用了自动均衡控制并启用通道 1 的 CB FET，工作周期为 30 分钟。在进行 30 分钟电芯均衡后，温度达到稳定。

表 3-8 展示了 BQ78706#1 来自直流电源的电芯 1 均衡电流。电芯均衡电流为 98.23mA。

表 3-8. 来自直流电源的电芯均衡电流

电芯	电芯电压 直流电源输出 (V)	电芯电压 BMU 输入 (V)	Rcb 两端的电压 (V)	均衡 电流 (mA)	温度 升高 (°C)
1	3.509	3.448	1.674	98.23	7.4

图 3-6 展示了 cell1 的电芯均衡温度。最高温升为 7.4°C。

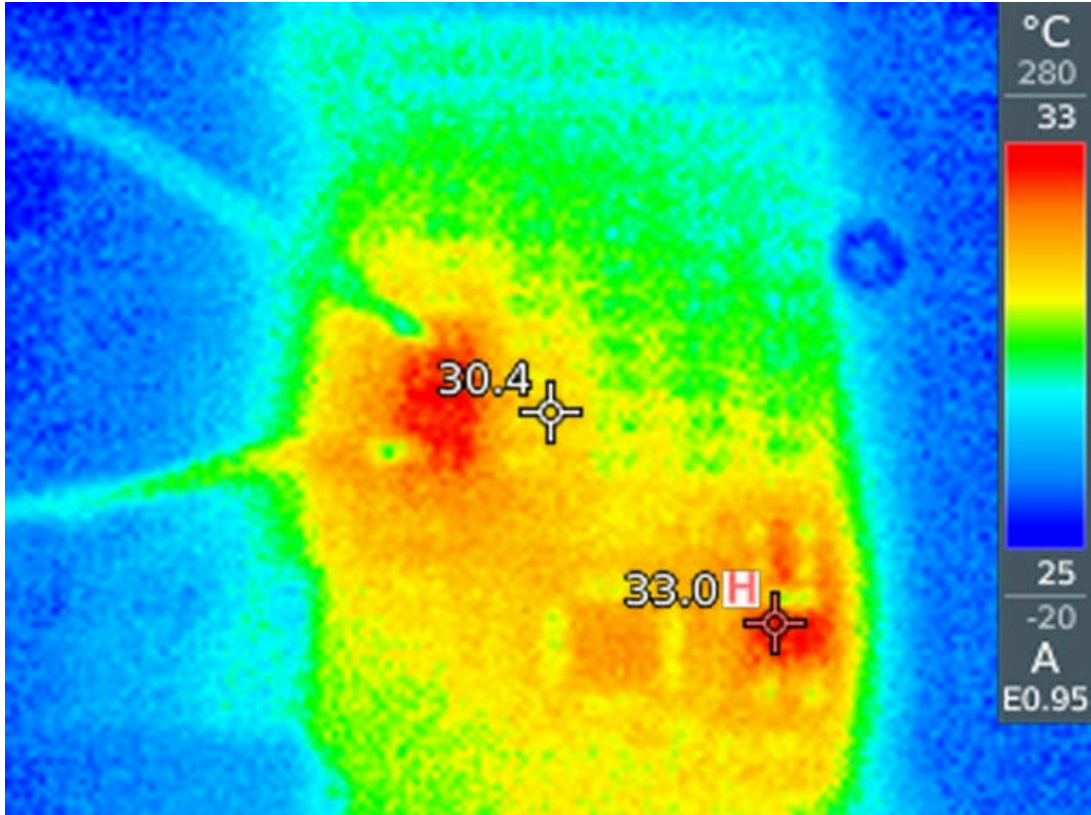


图 3-6. Cell1 的电芯均衡温度

### 3.3.6 电流消耗

图 3-7 展示了电流消耗的测试设置。这里测试了两种工作模式，包括关断模式和活动模式。每个 BQ78706 的 Cell0 被选为电流测量的测试点，因为 Cell0 是电源线直接连接到 BQ78706 GND 引脚的位置。在两种模式下，直流电源设置 cell10 和 cell13 之间的 40V 电压。此外，在直流电源的负极端子与每个 BQ78706 器件的 GND 之间添加了一个 8.22 Ω 电流检测电阻器。INA239 EVM 板用于测量电流检测电阻两端的电压。采样速率为 2ms，并收集 60000 点的数据以进行平均计算。

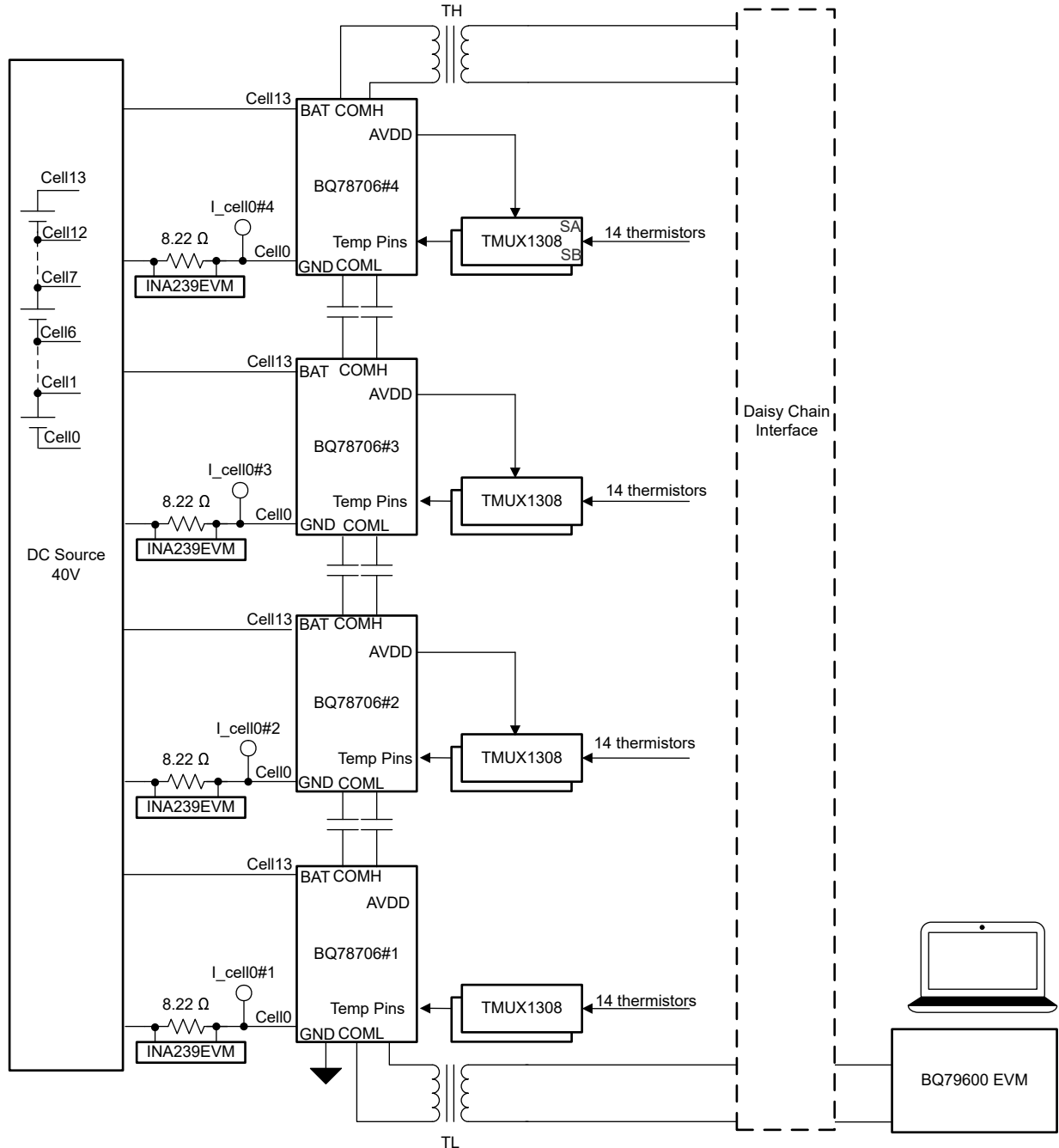


图 3-7. 电流消耗的测试设置

在活动模式下，BQ79600 EVM 运行电芯电压轮询循环。在关断模式下，BQ78706 引脚的漏电流为 3.416  $\mu$ A、3.65  $\mu$ A、3.65  $\mu$ A 和 4.258  $\mu$ A。在活动模式下，工作电流为 10.693mA、10.673mA、10.544mA 和 10.717mA。活动模式下的最大 AFE 间隙电流为 134  $\mu$ A。

表 3-9 展示了 BMU 电流消耗。

**表 3-9. BMU 电流消耗**

说明		I <sub>cell0#1</sub>	I <sub>cell0#2</sub>	I <sub>cell0#3</sub>	I <sub>cell0#4</sub>
关断模式	电流 ( $\mu$ A)	3.416	3.65	3.65	4.258
工作模式	电流 (mA)	10.400	10.430	10.296	10.426



## 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