

Design Guide: TIDA-020076

汽车级高压 BMS 参考设计：

18 节串联电芯有线或无线监控单元



说明

此参考设计实现了一种最多支持 18 节电芯的电芯监测单元。该单元可通过菊花链连接，覆盖乘用车、商用车及工作电压高于 72V 的两轮和三轮车使用的典型高压电池范围。此参考设计同时提供有线和无线两种接口选项，便于对有线与无线电池管理系统 (BMS) 的性能进行并排比较。

资源

| | |
|------------------------------------|-------|
| TIDA-020076 | 设计文件夹 |
| BQ97918B-Q1、TPS3436-Q1、TPS715-Q1 | 产品文件夹 |
| TPD6E004、LM5168-Q1、CC2662R-Q1 | 产品文件夹 |
| TXU0204-Q1、ISO7741-Q1、ESD2CAN24-Q1 | 产品文件夹 |

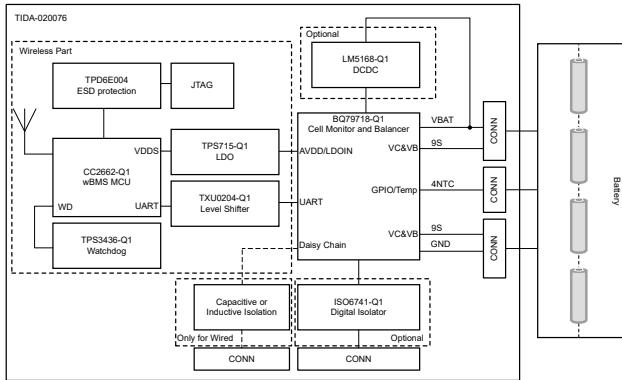


特性

- 适用于 6 至 18 节电芯的电芯监控单元 (CSU)，可堆叠实现高压 BMS。可选汇流条支持
- 高精度电芯电压测量和集成式电芯平衡功能
- 有线：隔离式差分菊花链，具有可选环形架构、电容隔离和电感隔离功能
- 无线：无线充电状态 (SoC) 传输通过 ISO26262 与 IEC61508 系统级认证，具备汽车安全完整性等级 D (ASIL D) 能力
- 支持通信和环境传感器集成的各种附加连接选项：通用异步接收器-发送器 (UART)、串行外设接口 (SPI)、通用 IO (GPIO)、I2C
- 可选 DCDC 电源，用于在休眠和运行期间提高系统效率

应用

- 混合动力汽车/电动汽车电池管理系统 (BMS)
- 有线电芯监测单元
- 无线电芯监测单元
- 有线高压电池系统
- 无线高压电池系统



1 系统说明

该参考设计展示了用于评估用途的有线和无线 BMS。该设计集成了两种为系统供电的方式：LDO 和 DCDC。如需量产，可以简化该设计，以仅包含所需的接口和供电方式。

1.1 有线系统说明

此电池管理系统 (BMS) 设计用于为 BQ79718B-Q1 系列器件提供评估板。该评估板支持大型锂离子电池组应用，并提供监测、保护、平衡和通信功能。

对于锂离子电池应用，每套参考设计最多可管理 18 节电芯（最高 100V）。最多可以将 35 个参考设计模块堆叠在一起，组成最多 560 节串联电芯。

每个系统提供快速电芯平衡、诊断以及模块与控制器之间的通信功能。该设计还包含独立的保护电路。

每套设计都配备了精密测量和同步通信组件，以支持主控制器执行充电状态 (SOC) 和运行状况 (SOH) 估测。凭借整个电池组的高精度电芯电压和快速采样速度，可更高效地运行电池模块并更精确地计算 SOC 和 SOH。与堆叠式参考设计器件的通信通过隔离式菊花链差分总线进行。

可使用 PC 中托管的 GUI 控制单个参考设计或多个堆叠式参考设计器件。PC 与基底器件之间通过 USB2ANY UART 接口进行通信。对于参考设计器件的堆叠，堆中所有其他器件之间的通信通过隔离式菊花链差分通信总线进行。利用 PC GUI，可配置参考设计来监测电芯和其他模拟数据通道，控制平衡以及监测故障详情。

表 1-1. 主要系统规格

| 项目 | 说明 | 典型值 | 单位 |
|----------------|--|---------------|----|
| VBATP_Max | 最大工作电压 | 100 | V |
| VBATP_Min | 最小工作电压 | 9 | V |
| VVC_RANGE | VC _n - VC _{n - 1} ，其中 n = 1 至 18 | 1 至 5 | V |
| VCB_RANGE | CB _n - CB _{n - 1} ，其中 n = 1 至 18 | 1 至 5 | V |
| T _A | 工作温度 | -40°C 至 125°C | °C |

1.2 无线系统说明

该设计将 BQ79718B-Q1（一款精密 18 节汽车级电池监测器）与 CC2662-Q1 无线 BMS MCU 相集成。

TI IC 的这一组合使工程师能够创建一个器件网络，通过 2.4GHz 无线电池监测系统 (WBMS) 通信协议传输电池监测数据。深入探索该设计的功能，可了解如何简化运行，并显著减少电动汽车 (EV) 中对大量线束的依赖。

WBMS 所代表的技术可在无需物理电线或电缆的情况下监测和控制分布式系统中的多个电池。该系统通过无线通信协议实现此目的。例如射频 (RF)、蓝牙®或蜂窝连接。

WBMS 的优点包括：

- 降低电缆复杂度和重量
- 提升系统升级或修改的灵活性和可扩展性
- 通过减少人工干预和自动化系统控制而降低维护成本

1.3 电源选项

对于无线部分，CC2662-Q1 电源使用一个 LDO 来提供 3.3V 输出。LDO 输入使用 LDOIN 或 AVDD，二者均由 BQ79718B-Q1 供电。

对于 BQ79718B-Q1 电源，LDO 和 DCDC 设计均支持不同的使用要求。LDO 装置集成在 BQ79718B-Q1 中，而且只需要一个晶体管。LDO 的优势包括设计简单、所需元件更少，进而成本更低。

DCDC 设计具有更高的效率和更低的静态电流。当客户需要更低的电流消耗时，DCDC 设计可与 LM5168-Q1 配合使用。该元件为 BQ79718B-Q1 的 LDOIN 供电。

除 LDOIN 之外，该器件还为不同的模式提供其他电压输出，如表 1-2 所示。

表 1-2. 不同模式下的 BQ79718B-Q1 电源

| 电源名称 | 运行 | SLEEP | 关断 |
|---------|---------------------------|------------|--------------------------------|
| LDOIN | 6V | 6V | 6V |
| AVDD | 5V | 5V | 5V (如果 EN) ¹ |
| DVDD | 1.5V | 1.5V | 0V |
| TSREF | 4V (如果 EN) ¹ | 4V (可配置) | 0V |
| REF_CAP | 4V | 4V | 4V (如果 AVDD EN) ¹ |

(1) 启用 (EN)

有关每个电压基准的正常工作电压的更多详细信息，请参阅 BQ79718B-Q1 数据表。

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 展示了系统级功能方框图。

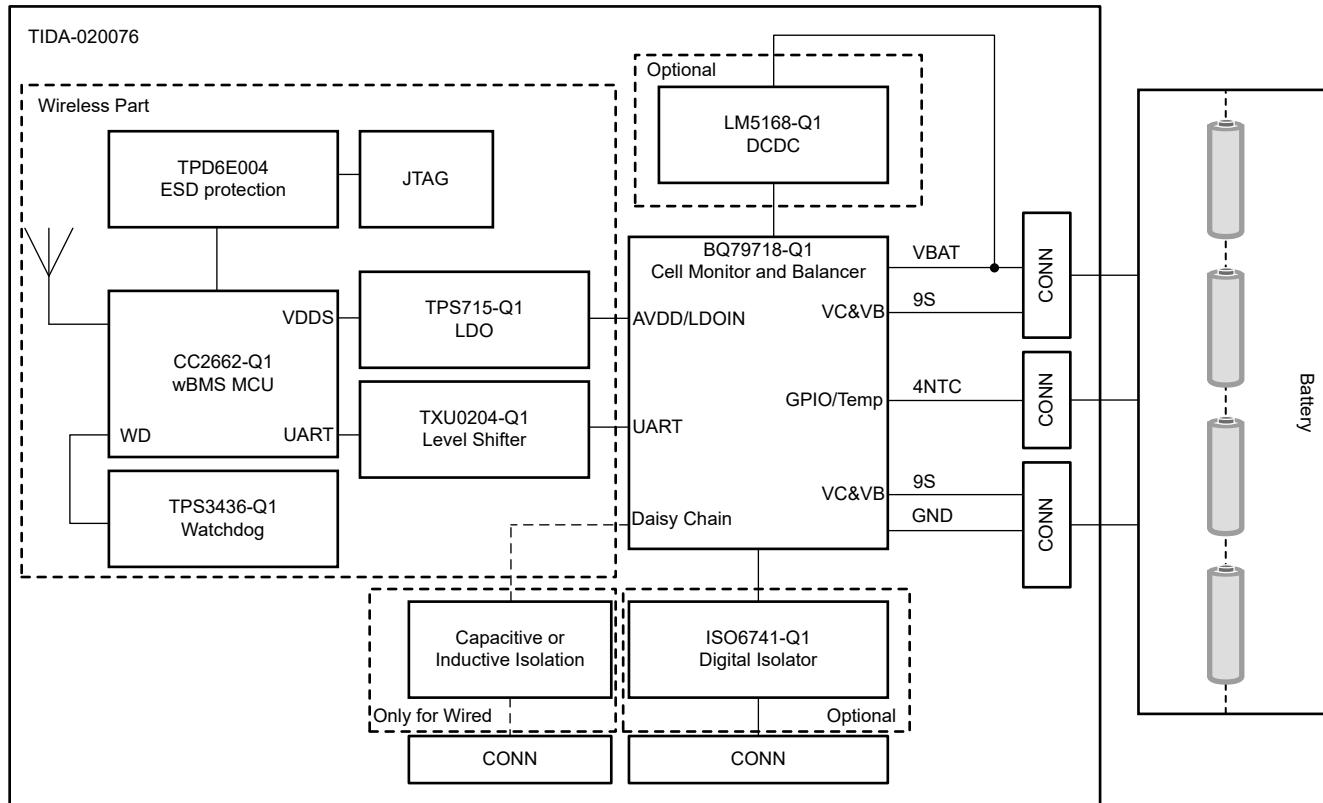


图 2-1. TIDA-020076 功能框图

2.2 设计注意事项

该设计采用接近量产标准的汽车 CSU，同时兼具 TI 有线和无线接口设计的灵活性。该设计是完整的汽车 BMS 评估平台的一部分，旨在为有意向的客户提供快速评估及后续产业化的便捷途径。

2.3 重点产品

2.3.1 BQ79718B-Q1

BQ79718V-Q1 (有线和无线运行) 可对 xEV 和 EV 的高压电池管理系统中高达 18 节串联电池模块提供高精度的电芯电压测量。该系列监测器在同一封装类型中提供不同的通道选项，同时提供引脚对引脚兼容性，并支持在任何平台上高度重复使用既有的软件和硬件。该器件通过变压器 (或电容器) 隔离菊花链，支持 xEV 动力总成应用中的集中式和分布式架构。

BQ79718V-Q1 的主要特性包括：

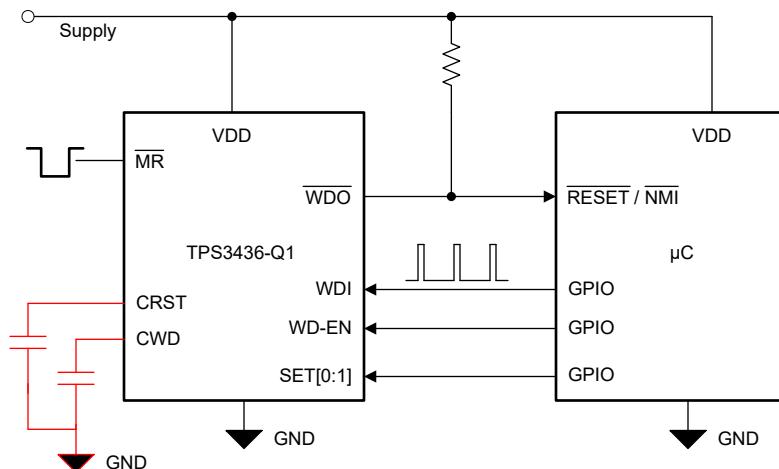
- 具有符合 AECQ100 标准的下列特性：
 - 器件温度等级 1：-40°C 至 +125°C 环境工作温度范围
 - 器件人体放电模型 (HBM) 静电放电 (ESD) 分级等级 2
 - 器件 CDM ESD 分类等级 C1
- 符合功能安全标准：
 - 可帮助进行 ISO 26262 系统设计的文档
 - 系统可满足 ASIL D 级要求
 - 硬件可满足 ASIL D 要求

- 每个器件可测量 9 至 18 节串联电池，最多可堆叠 64 个器件
- 专用 ADC，典型精度为 $\pm 1\text{mV}$
- 电芯电压和电池包电流测量同步至 $64 \mu\text{s}$
- 支持完全冗余的跛行回家模式
- 集成式后 ADC 可配置数字低通滤波器
- 支持汇流条而不影响测量精度
- 12 个用于温度传感器、模拟、数字、I₂C 控制器和 SPI 控制器的 GPIO
- 内部电芯平衡：
 - 300mA 时达到平衡
 - 用户控制型 PWM 调节电芯平衡电流
 - 内置平衡热管理，具有自动暂停和恢复控制功能
- 稳健的菊花链通信，支持环形架构
- 主机的硬件复位可在不移除电池的情况下模拟类似 POR 的事件
- 支持变压器和电容隔离
- 用于一次自定义编程的片上存储器
- 低功耗模式电流 $< 6 \mu\text{A}$
- 与具有 SPI 和 UART 接口的 BQ79600-Q1 兼容

2.3.2 TPS3436-Q1

TPS3436-Q1（无线运行）具有超低功耗（典型值为 250nA），并提供了一个可编程窗口看门狗计时器。

TPS3436-Q1 提供了具有多种功能的高精度窗口看门狗计时器，广泛适用于各种应用。关闭窗口计时器可在出厂时编程，也可由用户使用外部电容器编程。可以使用逻辑引脚的组合来动态更改打开窗口与关闭窗口的比率。看门狗还提供了高级功能，例如启用-禁用、启动延迟。看门狗输出 (WDO) 延迟可通过出厂时编程的默认延迟设置进行设定，也可通过外部电容器进行编程。该器件还提供了锁存输出运行模式，其中输出会保持锁存，直到看门狗故障清除。TPS3436-Q1 提供了 TPS3430-Q1 器件系列的性能升级替代方案。TPS3436-Q1 采用小型 8 引脚 SOT-23 封装。



TPS3436-Q1 offers various pinout options to support different features.
Choose suitable pinout based on application needs.

图 2-2. TPS3436-Q1 方框图

TPS3436-Q1 的主要特性包括：

- 具有符合 AEC-Q100 标准的下列特性：
 - 器件温度等级 1：-40°C 至 125°C 环境工作温度范围
- 出厂编程或可由用户编程的看门狗超时：
 - $\pm 10\%$ 精确计时器（最大值）
 - 出厂编程的关闭窗口：1ms 至 100s
- 出厂编程或可由用户编程的复位延迟：

- $\pm 10\%$ 精确计时器 (最大值)
- 出厂编程选项 : 2ms 至 10s
- 输入电压范围 : $V_{DD} = 1.04V$ 至 6.0V
- 超低电源电流 : $I_{DD} = 250nA$ (典型值)
- 漏极开路、推挽；低电平有效输出
- 各种可编程选项 :
 - 看门狗启用/禁用
 - 看门狗启动延迟 : 无延迟至 10s
 - 打开窗口与关闭窗口比率选项 : 1 × 至 511 ×
 - 锁存输出选项
- MR 功能支持

2.3.3 TPS715-Q1

TPS715-Q1 (无线运行) 低压降 (LDO) 线性电压稳压器具有低静态电流，在微型封装内实现了宽输入电压范围和低运行功耗。TPS715-Q1 支持电池供电型应用，可用作低功耗微控制器的电源管理附件。TPS715-Q1 有固定和可调节两种版本可供选用。为获得更大的灵活性或更高的输出电压，可调节版本使用反馈电阻器将输出电压设置在 1.2V 到 15V 之间。TPS715-Q1 LDO 在 50mA 负载电流下支持典型值为 415mV 的低压降。低静态电流 (典型值为 3.2 μA) 在整个输出负载电流范围 (0mA 至 50mA) 内保持稳定。TPS715-Q1 还具有内部软启动功能，可降低浪涌电流。内置过流限制有助于在发生负载短路和故障条件时保护稳压器。TPS715-Q1 采用 2.00mm × 1.25mm、5 引脚 SC-70 (DCK) 封装，提供固定和可调节输出选项。

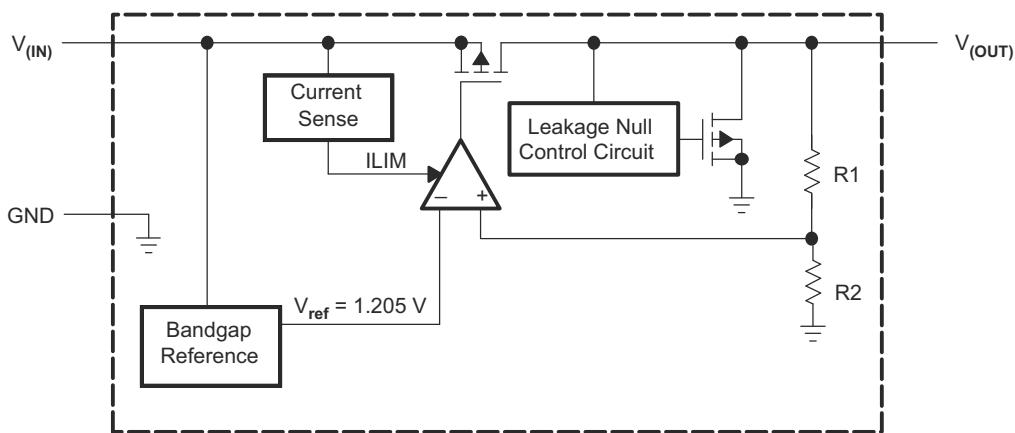


图 2-3. TPS715-Q1 方框图

TPS715-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_A
 - 器件 HBM ESD 分类等级 H2
 - 旧芯片的器件 CDM ESD 分类等级为 C4B，新芯片为 C5
- 输入电压范围 : 2.5V 至 24V
- 可配置的输出电压选项 :
 - 固定 : 1.8V 至 5V
 - 可调节 : 1.2V 至 15V
- 输出电流 : 高达 50mA
- 超低 IQ : 50mA 负载电流时为 3.2 μA
- 输出电容器 $\geq 0.47 \mu F$ 时保持稳定
- 过流保护
- 封装 : 5 引脚 SC70 (DCK)

2.3.4 TPD6E004

TPD6E004 (无线运行) 器件是一款低电容、 $\pm 15\text{kV}$ ESD 保护二极管阵列，设计用于保护连接到通信线路的敏感电子元件。每个通道都包含一对二极管，用于将 ESD 电流脉冲引导至 V_{CC} 和 GND。TPD6E004 可针对高达 $\pm 15\text{kV}$ 人体放电模型 (HBM) 的 ESD 脉冲、 $\pm 8\text{kV}$ 接触 ESD 和 $\pm 12\text{kV}$ 气隙 ESD 提供保护，符合 IEC 61000-4-2 的要求。该器件每通道具有 1.6pF 的典型电容，因此非常适合用在高速数据 I/O 接口中。TPD6E004 器件采用 RSE 封装，工作温度范围为 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 。TPD6E004 器件采用六通道 ESD 结构，专为 USB、以太网和 FireWire 应用而设计。

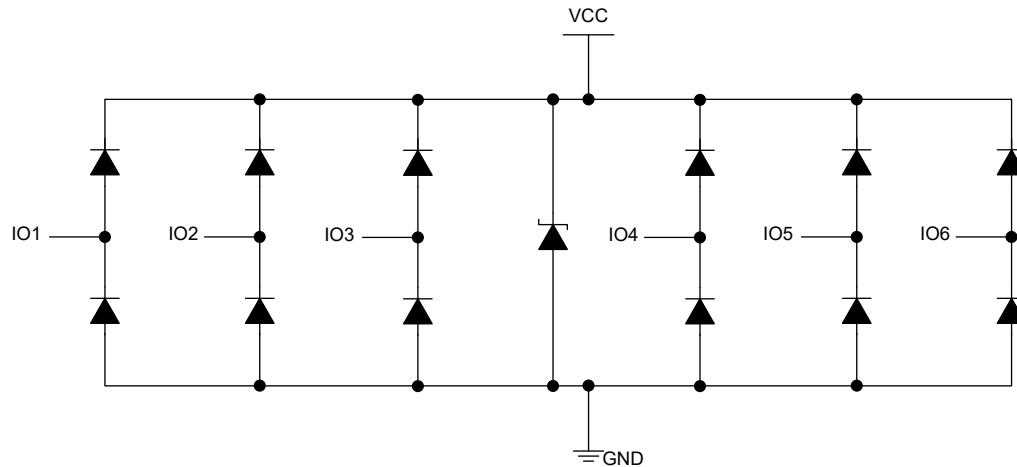


图 2-4. TPD6E004 方框图

TPD6E004 的主要特性包括：

- ESD 保护性能超过 JESD 规范要求：
 - $\pm 15\text{kV}$ 人体放电模型 (HBM)
 - $\pm 8\text{kV}$ IEC 61000-4-2 接触放电
 - $\pm 12\text{kV}$ IEC 61000-4-2 气隙放电
- 1.6pF 低 I/O 电容
- 0.9V 至 5.5V 电源电压范围
- 六通道器件
- 节省空间的 UQFN (RSE) 封装

2.3.5 CC2662R-Q1

SimpleLink™ 2.4GHz CC2662R-Q1 (无线运行) 器件是一款符合 AEC-Q100 标准的无线微控制器 (MCU)，适用于无线汽车应用。该器件支持电池管理系统 (BMS) 和电缆更换等应用中的低功耗无线通信。该器件的突出特性包括：

- 支持 TI 的 SimpleLink 无线 BMS (WBMS) 协议，可实现稳健、低延迟和高吞吐量的通信。
- 具有功能安全管理分级，包括 TI 质量管理开发过程，以及将要提供的功能安全 FIT 率计算、FMEDA 和功能安全文档。
- 符合 AEC-Q100 标准的 2 级温度范围 (-40°C 至 $+105^\circ\text{C}$)，并采用具有可湿性侧面的 $7\text{mm} \times 7\text{mm}$ VQFN 封装。
- 待机电流低至 $0.94\text{ }\mu\text{A}$ ，且可完整保持 RAM 数据。
- 出色的 97dBm 无线电链路预算。

CC2662R-Q1 器件是 SimpleLink™ MCU 平台的一部分，该平台包括 Wi-Fi®、蓝牙低功耗、Thread、Zigbee®、低于 1GHz MCU 和主机 MCU，它们共用同一个易用型开发环境和丰富工具集。

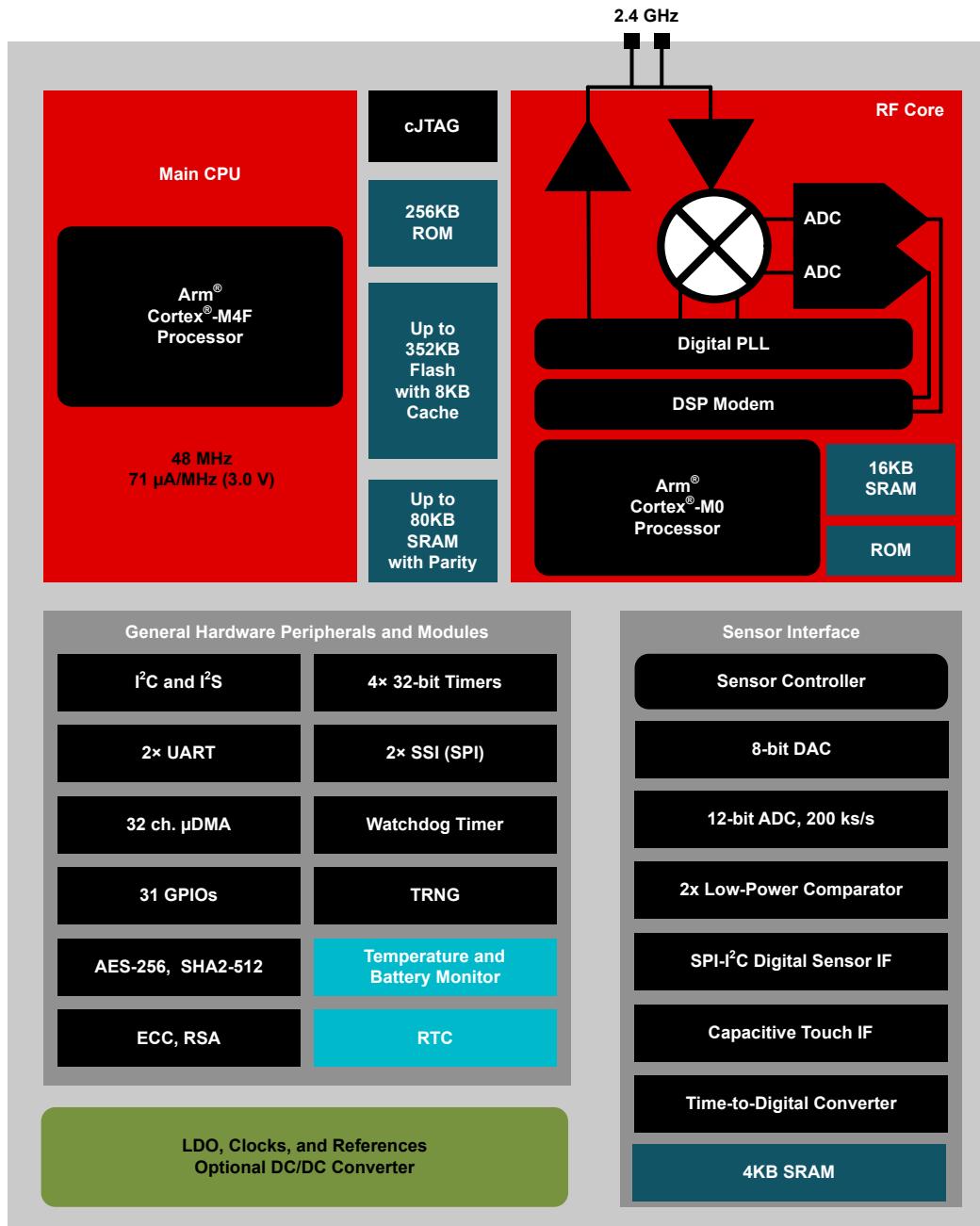


图 2-5. CC2662R-Q1 方框图

CC2662R-Q1 的主要特性包括：

无线微控制器：

- 功能强大的 48MHz Arm® Cortex®-M4F 处理器
- EEMBC CoreMark 评分：148
- 352KB 闪存程序存储器
- 256kB ROM，用于存储协议和库函数
- 8KB 高速缓存 SRAM
- 具有奇偶校验功能的 80KB 超低泄漏 SRAM，可实现高度可靠运行
- 2 引脚 cJTAG 和 JTAG 调试
- 支持无线升级 (OTA)
- 支持 SimpleLink™ WBMS 的可编程无线电

超低功耗传感器控制器：

- 具有 4KB SRAM 的自主 MCU
- 采样、存储和处理传感器数据
- 快速唤醒进入低功耗运行
- 软件定义外设；电容式触控、流量计、LCD

2.3.6 TXU0204-Q1

TXU0204-Q1 (无线运行) 是一款 4 位双电源非反相定向电压电平转换器件。Ax 引脚以 V_{CCA} 逻辑电平为基准，OE 引脚可以 V_{CCA} 或 V_{CCB} 逻辑电平为基准，Bx 引脚以 V_{CCB} 逻辑电平为基准。A 端口和 B 端口都能接受 1.1V 至 5.5V 范围内的输入电压。当 OE 相对于任一电源设为高电平时，会进行从 A 到 B 和从 B 到 A 的定向数据传输。OE 设为低电平时，所有输出引脚均处于高阻抗状态。

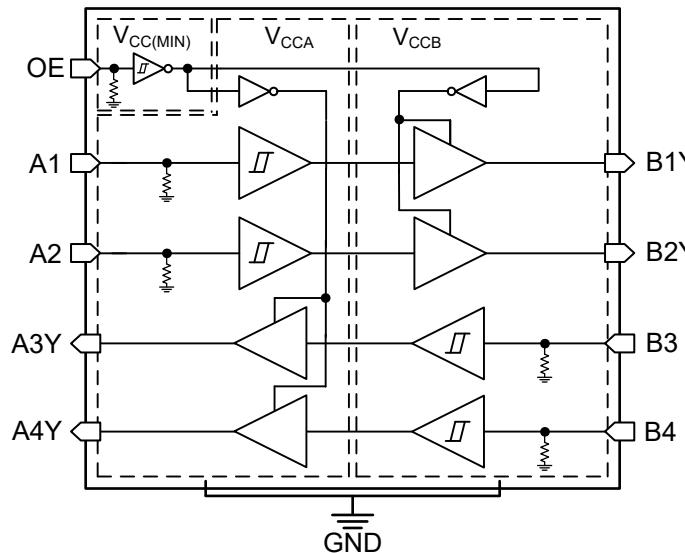


图 2-6. TXU0204-Q1 方框图

TXU0204-Q1 的主要特性包括：

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
- 采用可湿侧面 QFN (WBQA) 封装
- 完全可配置的双电源轨设计可允许各个端口在 1.1V 至 5.5V 范围内运行
- 在 3.3V 至 5.0V 范围内，支持高达 200Mbps 的速率
- 施密特触发输入可实现慢速和高噪声输入
- 带集成静态下拉电阻器的输入端可防止通道悬空
- 高驱动强度（在 5V 时高达 12mA）
- 低功耗：
 - 最大值 3 μ A (25°C)
 - 最大值 6 μ A (-40°C 至 125°C)
- V_{CC} 隔离和 V_{CC} 断开 ($I_{off-float}$) 特性：
 - 如果任一 V_{CC} 输入低于 100mV 或已断开，则所有输出均禁用且处于高阻抗状态
- I_{off} 支持局部断电模式运行
- 使用 $V_{CC(MIN)}$ 电路的控制逻辑 (OE) 允许从端口 A 或 B 进行控制
- 引脚排列兼容 TXB 系列电平转换器
- 在支持常见应用的其他型号中可用：TXU0104-Q1、TXU0304-Q1
- 工作温度范围为 -40°C 至 +125°C
- 闩锁性能超过 100mA，符合 JESD 78 II 类规范的要求
- ESD 保护性能超过 JESD 22 规范要求：
 - 2500V 人体放电模型

- 1500V 充电器件模型

2.3.7 ISO7741-Q1

ISO774x-Q1 (有线和无线运行) 汽车器件是一款高性能四通道数字隔离器，具有符合 UL1577 标准的 5,700V_{RMS} (DWW 封装)、5,000V_{RMS} (DW 封装) 和 3,000V_{RMS} (DBQ 封装) 隔离等级。该系列器件具有符合 VDE、CSA、TUV 和 CQC 标准的增强绝缘等级。

在隔离 CMOS 和 LVC MOS 数字 I/O 的同时，ISO774x-Q1 器件还可提供高电磁抗扰度和低辐射，同时具备低功耗特性。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 (SiO₂) 绝缘栅相隔离。这些器件配有使能引脚，可用于将各自的输出置于高阻态以适用于多控制器驱动应用，并降低功耗。ISO7740-Q1 器件具有四条同向通道，ISO7741-Q1 器件具有三条正向通道和一条反向通道，而 ISO7742-Q1 器件具有两条正向通道和两条反向通道。如果输入电力和信号丢失，不带后缀 F 的器件的默认输出会保持高电平，带后缀 F 的器件会保持低电平。

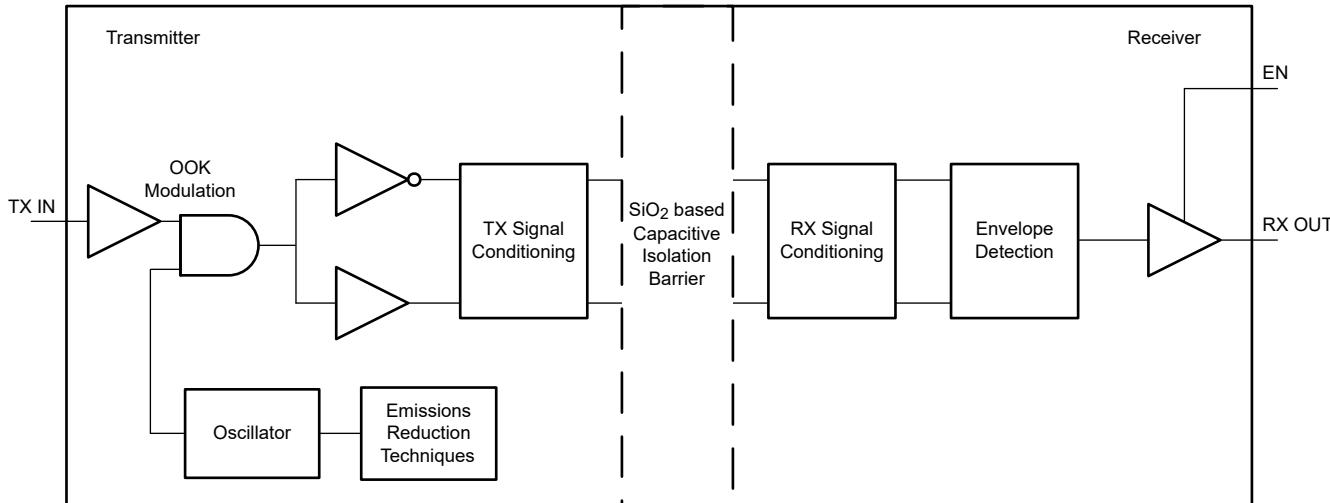


图 2-7. ISO7741-Q1 方框图

ISO7741-Q1 的主要特性包括：

- 符合汽车应用要求
- 具有符合 AEC-Q100 标准的下列特性：
 - 器件温度等级 1：-40°C 至 125°C 环境工作温度范围
- 功能安全型：
 - 可提供用于功能安全系统设计的文档：ISO7740-Q1、ISO7741-Q1、ISO7742-Q1
- 100Mbps 数据速率
- 稳健可靠的隔离栅：
 - 在 1,500V_{RMS} 工作电压下预计寿命大于 30 年
 - 隔离等级高达 5700V_{RMS}
 - 浪涌能力高达 12.8kV
 - CMTI 典型值为 $\pm 100\text{kV}/\mu\text{s}$
- 宽电源电压范围：2.2V 至 5.5V
- 2.25V 至 5.5V 电平转换
- 默认输出高电平 (ISO774x) 与低电平 (ISO774xF) 选项
- 低功耗，1Mbps 时每通道的电流典型值为 1.5mA
- 低传播延迟：典型值为 10.7ns (5V 电源)
- 优异的电磁兼容性 (EMC)：
 - 系统级 ESD、EFT 和浪涌抗扰性
 - 在整个隔离栅具有 $\pm 8\text{kV}$ IEC 61000-4-2 接触放电保护
 - 低辐射
- 超宽 SOIC (DWW-16)、宽体 SOIC (DW-16) 和 QSOP (DBQ-16) 封装选项

- 安全相关认证：
 - DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17)
 - UL 1577 组件认证计划
 - IEC 61010-1、IEC 62368-1、IEC 60601-1 和 GB 4943.1 认证

2.3.8 ESD2CAN24-Q1

ESD2CANxx24-Q1 (无线运行) 是一款用于控制器局域网 (CAN) 接口保护的双向 ESD 保护二极管。ESD2CANxx24-Q1 消散接触 ESD 冲击的能力超过了 ISO 10605 汽车标准所规定的最高水平 ($\pm 30\text{kV}$ 接触放电 , $\pm 30\text{kV}$ 气隙放电)。低动态电阻和低钳位电压支持针对瞬态事件提供系统级保护。这种保护是一种关键能力，因为汽车系统对安全应用的稳健性和可靠性要求很高。

该器件的每通道低 I/O 电容和引脚排列可以保护两条汽车 CAN 总线 (CANH 和 CANL)，防止其因静电放电 (ESD) 和其他瞬态而损坏。此外，ESD2CANxx24-Q1 的 3pF (典型值) 及更小的线路电容适合 CAN、CANFD、CAN SiC 和可实现高达 10Mbps 数据速率的 CAN-XL 应用。

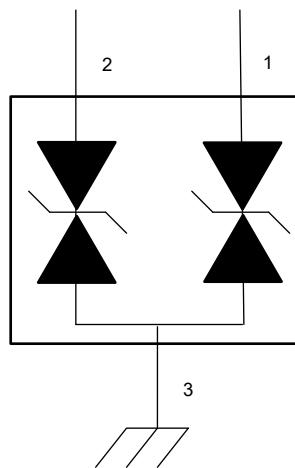


图 2-8. ESD2CAN24-Q1 方框图

ESD2CAN24-Q1 的主要特性包括：

- IEC 61000-4-2 4 级 ESD 保护：
 - $\pm 30\text{kV}$ 、 $\pm 25\text{kV}$ 或 $\pm 20\text{kV}$ 接触放电
 - $\pm 30\text{kV}$ 、 $\pm 25\text{kV}$ 或 $\pm 20\text{kV}$ 气隙放电
- ISO 10605 (330pF, 330 Ω) ESD 保护：
 - $\pm 30\text{kV}$ 、 $\pm 25\text{kV}$ 或 $\pm 20\text{kV}$ 接触放电
 - $\pm 30\text{kV}$ 、 $\pm 25\text{kV}$ 或 $\pm 20\text{kV}$ 气隙放电
- 经测试符合 IEC 61000-4-5
- 24V 工作电压
- 双向 ESD 保护
- 2 通道器件通过单个组件实现完整的 ESD 保护
- 低钳位电压可保护下游元件
- 符合 AEC-Q101 标准
- I/O 电容 = 3pF、2.5pF 或 1.7pF (典型值)
- SOT-23 (DBZ) 小型、标准、通用封装
- SOT-323、SC-70 (DCK) 超小、标准、节省空间、通用封装
- 引线式封装，用于自动光学检测 (AOI)

2.3.9 LM5168-Q1

LM5169-Q1 和 LM5168-Q1 (有线和无线运行) 同步降压转换器可在宽输入电压范围内进行稳压，从而更大限度地减少对外部浪涌抑制元件的需求。50ns 的最短可控导通时间有助于实现较大的降压转换比，支持从 48V 标称输入直接降压至低压轨，从而降低系统复杂性并减少设计成本。LM516x-Q1 在输入电压骤降至 6V 时仍能正常运行，必要时可实现近 100% 的占空比，这使 LM516x-Q1 成为宽输入电源范围工业应用及多电芯电池组场景的理想之选。

凭借集成式高侧和低侧功率 MOSFET，LM5169-Q1 可提供高达 0.65A 的输出电流，LM5168-Q1 可提供高达 0.3A 的输出电流。恒定导通时间 (COT) 控制架构可提供几乎恒定的开关频率，具有高效的负载和线路瞬态响应。LM516x-Q1 提供强制脉宽调制 (FPWM) 和自动模式版本。FPWM 模式在整个负载范围内实现强制 CCM 运行，支持隔离式 Fly-Buck 转换器应用。自动模式可实现超低 I_Q 和二极管仿真模式运行，从而在轻负载下实现高效率。

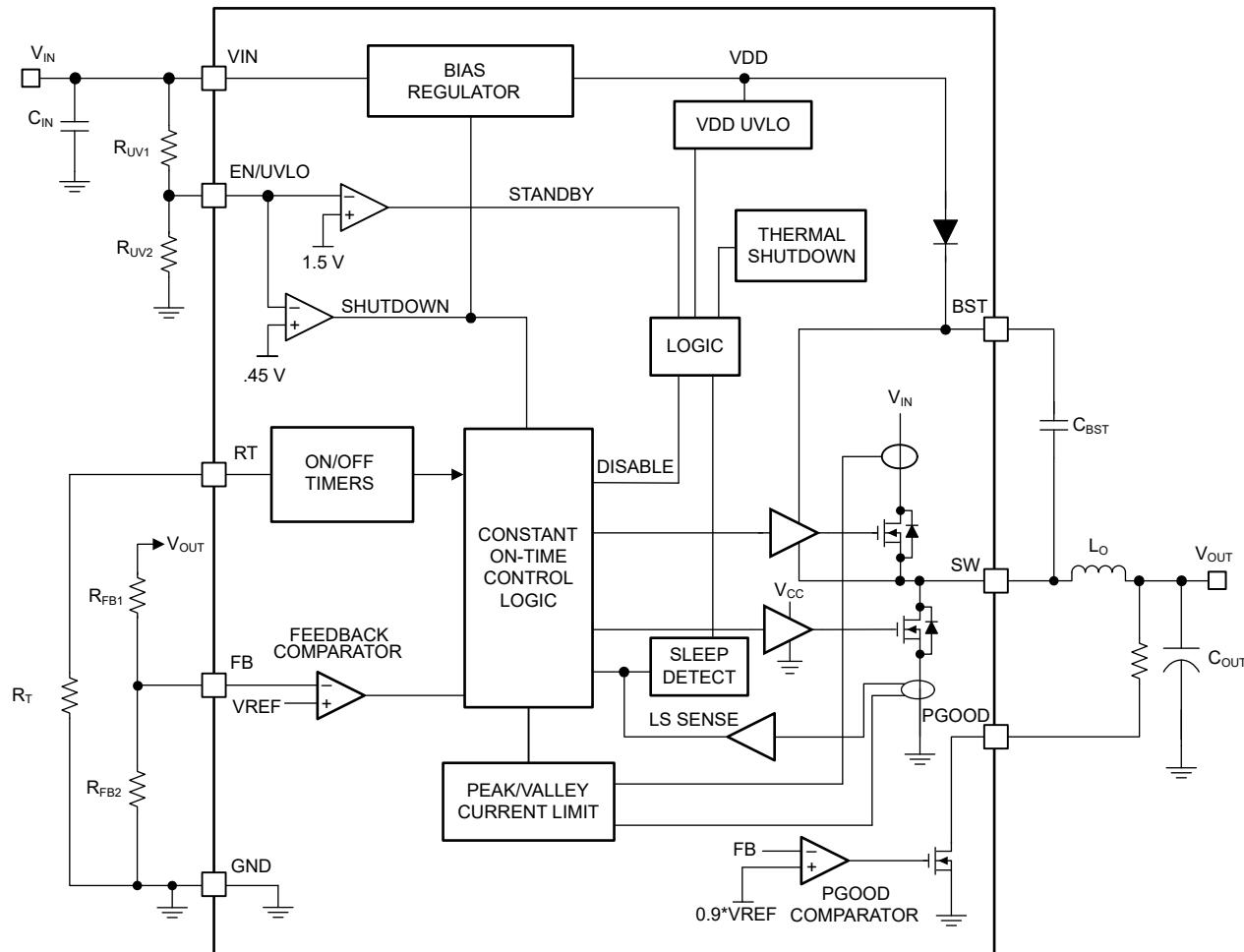


图 2-9. LM5168-Q1 方框图

LM5168-Q1 的主要特性包括：

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准：
 - 器件温度等级 1：-40°C 至 +125°C 的环境温度范围
- 专为在严苛的应用中实现可靠性而设计：
 - 6V 至 120V 的宽输入电压范围
 - 结温范围：-40°C 至 +150°C
 - 固定 3ms 内部软启动计时器
 - 峰值和谷值电流限制保护
 - 输入 UVLO 和热关断保护
- 专为可扩展的 HEV 和 EV 电源而设计：
 - 最短导通时间和关闭时间低至 50ns
 - 高达 1MHz 的可调节开关频率
 - 可实现高轻负载效率的二极管仿真
 - 自动模式下具有低静态电流 (< 10µA)
 - FPWM 模式支持 Fly-Buck 转换器功能
 - 3µA 关断静态电流
 - 与 LM5164-Q1、LM5163-Q1、LM5017、LM5013-Q1 和 LM34927 引脚对引脚兼容
- 通过集成技术减小设计尺寸，降低成本：
 - COT 模式控制架构
 - 集成式 1.9Ω NFET 降压开关
 - 集成 0.71Ω NFET 同步整流器
 - 1.2V 内部电压基准
 - 无环路补偿组件
 - 内部 V_{CC} 偏置稳压器和自举二极管
 - 开漏电源正常状态指示器
 - SOIC PowerPAD™ 集成电路封装

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

参考设计分为五个部分，从应用角度阐述了设计内容：

- DCDC 功率
- 电池监测器、NTC 和数字隔离器
- 连接器
- 菊花链
- 无线

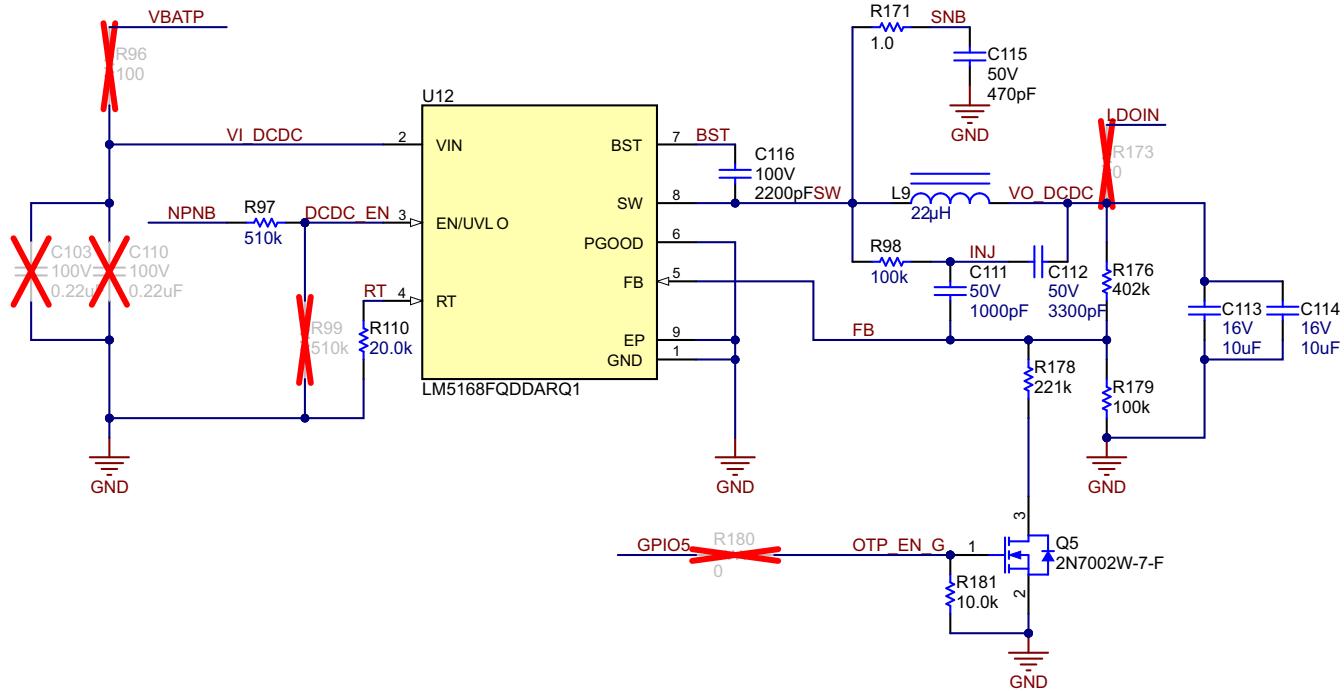


图 3-1. TIDA-020076 原理图：DCDC 电源

可通过两种方式为 BQ79718B-Q1 供电：DCDC 电源和 LDO 电源。参考设计同时提供了两种方式，但只能选择其中一种。DCDC 电源效率更高，而 LDO 电源成本更低。

当客户需要较低的电流消耗时，需要使用 DCDC 电源。

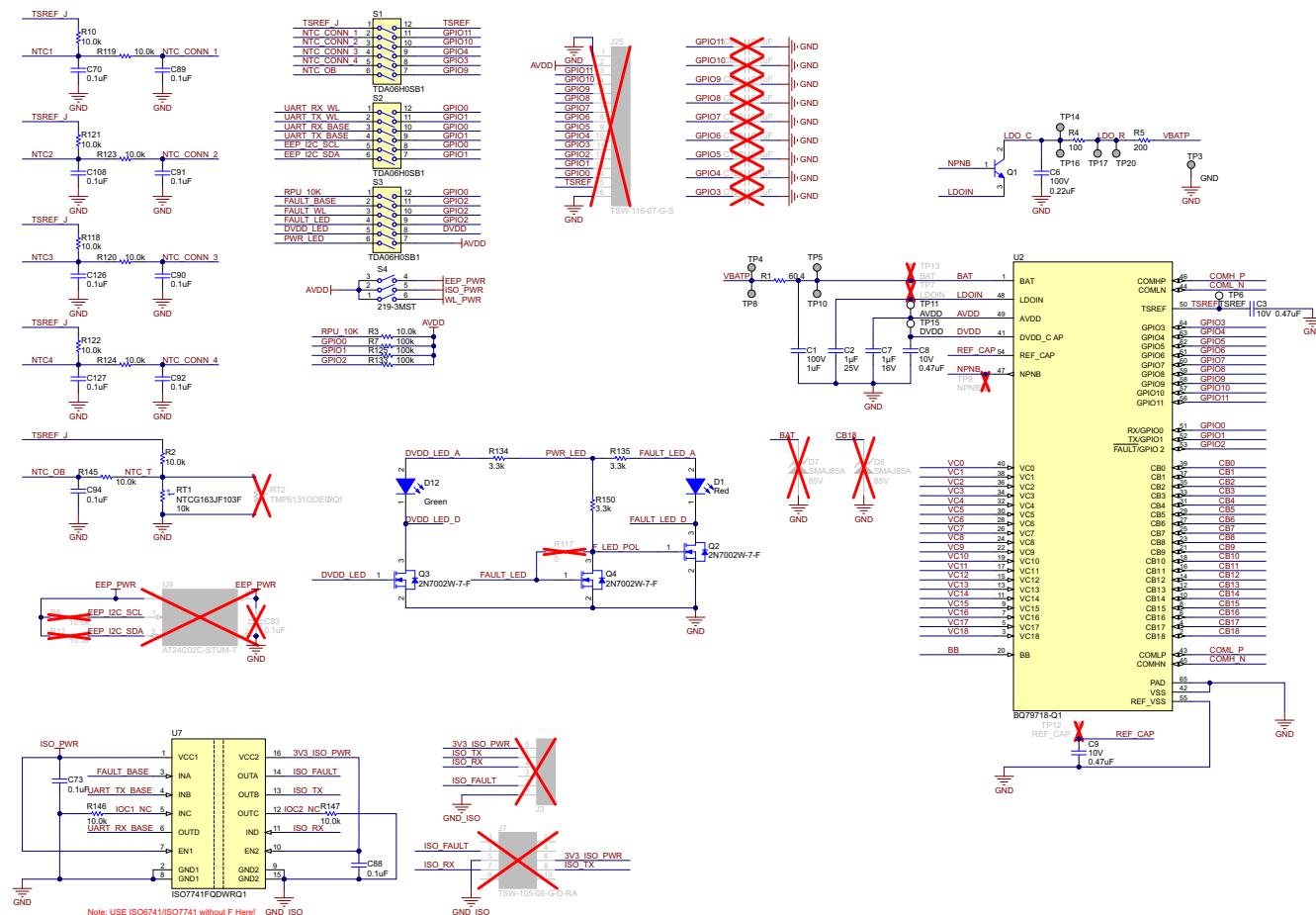


图 3-2. TIDA-020076 原理图：电池监控器

对于主电池监测器设计，当未组装 DCDC 电源时，需要使用右上角的 LDO 电源。

左上角的元件用于检测电路板外部和电路板上的 NTC。RT1 是电路板上的 NTC，RT2 是电路板上的 PTC。选择其中一个元件。

S1、S2、S3 和 S4 是用于选择所需功能的开关。要测试外部 NTC，需要接通 S1 PIN1、PIN2、PIN3、PIN4 和 PIN5。接通 S1 PIN6 可测试电路板上的 NTC 值。

启用 I2C 之前，GPIO0 和 RX 默认为复位时的 UART RX。不使用时（例如，对于堆栈器件），请将 RX 短接至 AVDD 或与小于 20kΩ 的上拉电阻器配合使用（接通 S3 PIN 1）。如果用作 UART RX，则使用大于 70kΩ 的电阻器上拉至 AVDD（关闭 S1 PIN1）。

当 GPIO0 和 RX 与 AVDD 之间连接一个大电阻器（大于 70kΩ）时，AVDD 在 SHUTDOWN 模式期间会保持开启。AVDD 允许在 SHUTDOWN 模式下为无线 RX 和 TX 等外部器件供电。

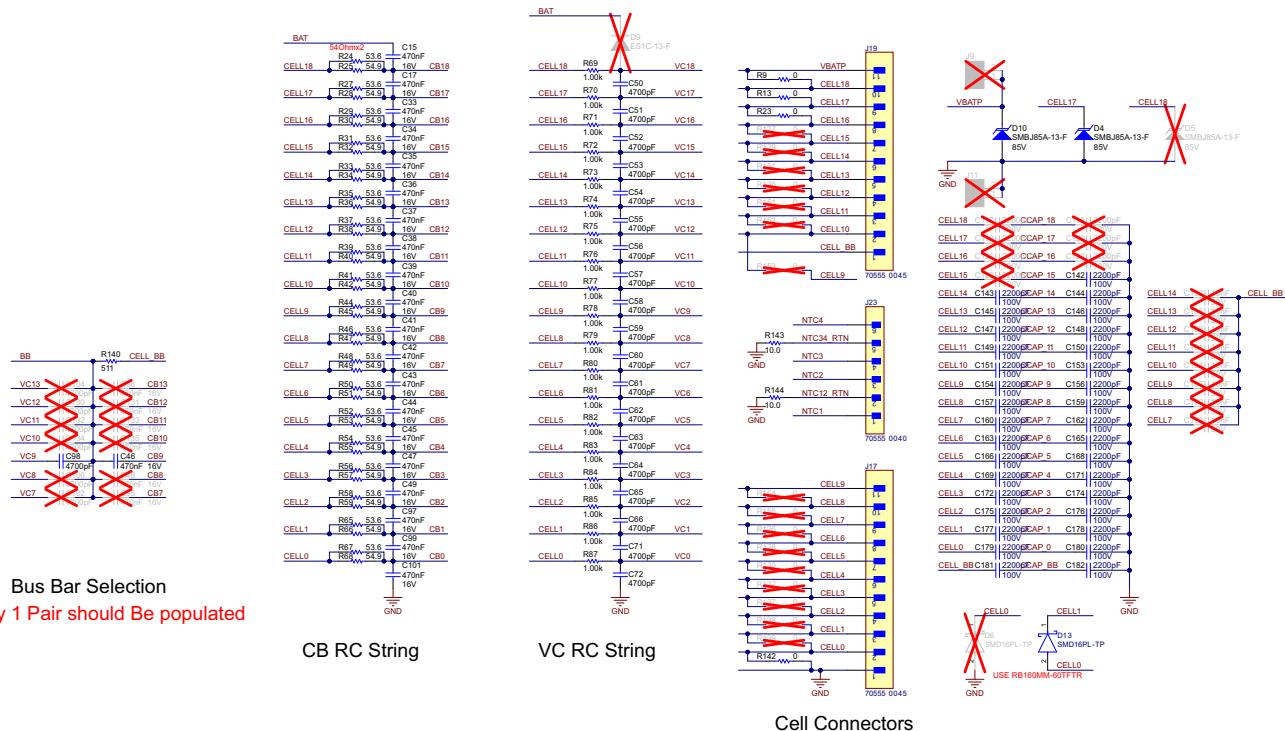
如果 GPIO0 上拉电阻器小于 20kΩ，则当器件处于 SHUTDOWN 模式时，AVDD 将会关闭。

若要进行无线测试，WBMS LDO 的电源为 LDOIN 或 WL_PWR。接通 S4 PIN1 或保持 R8 组装状态。

执行任何外部测试或测量时均不需要 J25。需要在 GPIO 到 GND 之间使用电容来实现 ESD 保护。

此页面中间的 D1 和 D12 是用于指示 FAULT 和 DVDD 的 LED。当客户需要更严格的 EMC 测试条件时，需要使用 D7 和 D8。

在左下角，当需要隔离式 UART 通信时，U7 用作数字隔离器。J3 和 J7 是这些隔离信号的输出连接器。



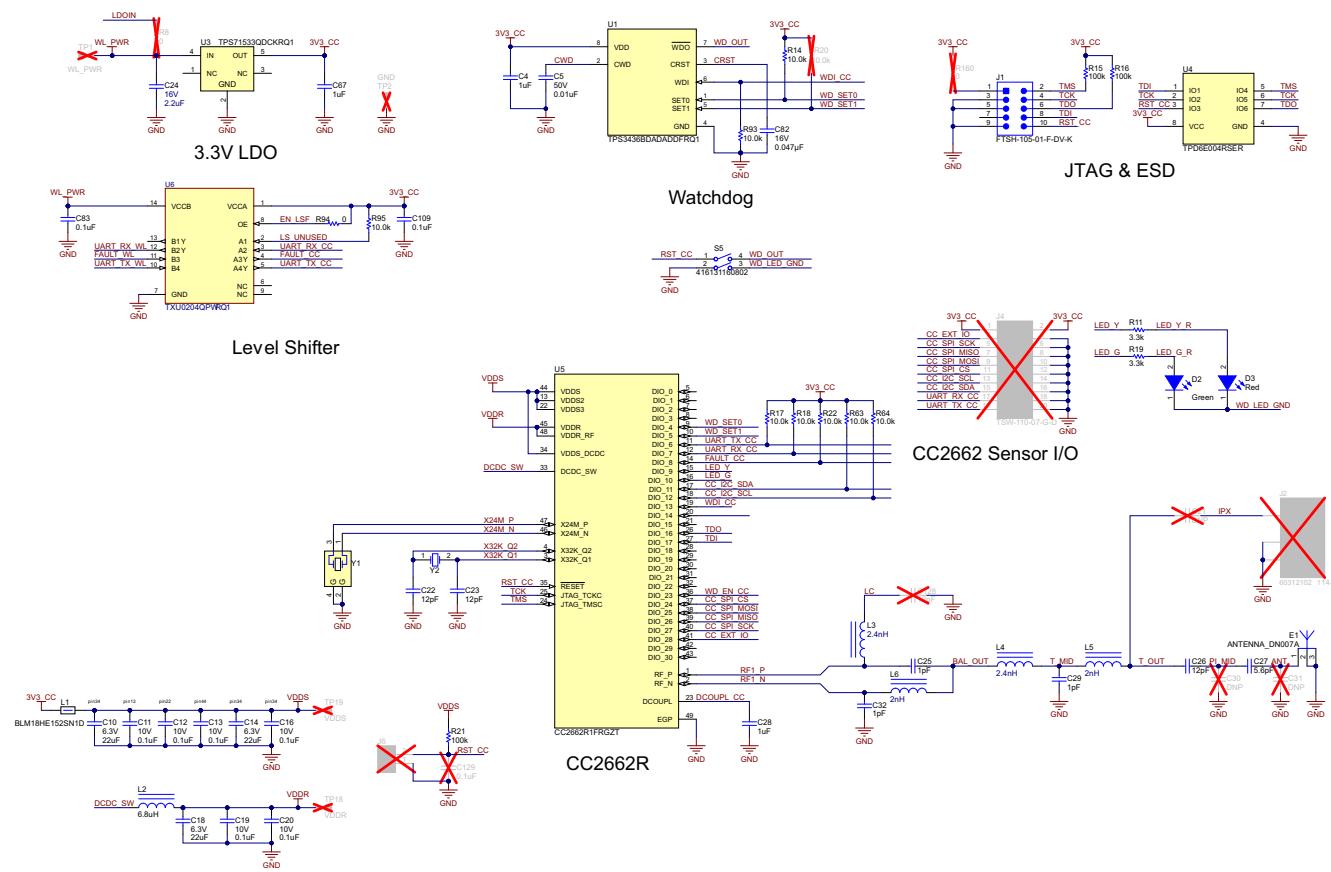


图 3-5. TIDA-020076 原理图：无线

无线部分的核心器件是 CC2662。该器件的电源为 3.3V，因此需要 3.3V LDO。此外，UART 通信需要一个 5V 至 3.3V 电平移位器。看门狗用于满足功能安全要求。JTAG 连接器 J1 用于将软件下载到 CC2662。

J4 和 J6 仅在执行测量时使用。J2 用于测量无线信号。

3.2 测试设置

3.2.1 硬件设置

按照以下步骤并参考图 3-6 来设置硬件：

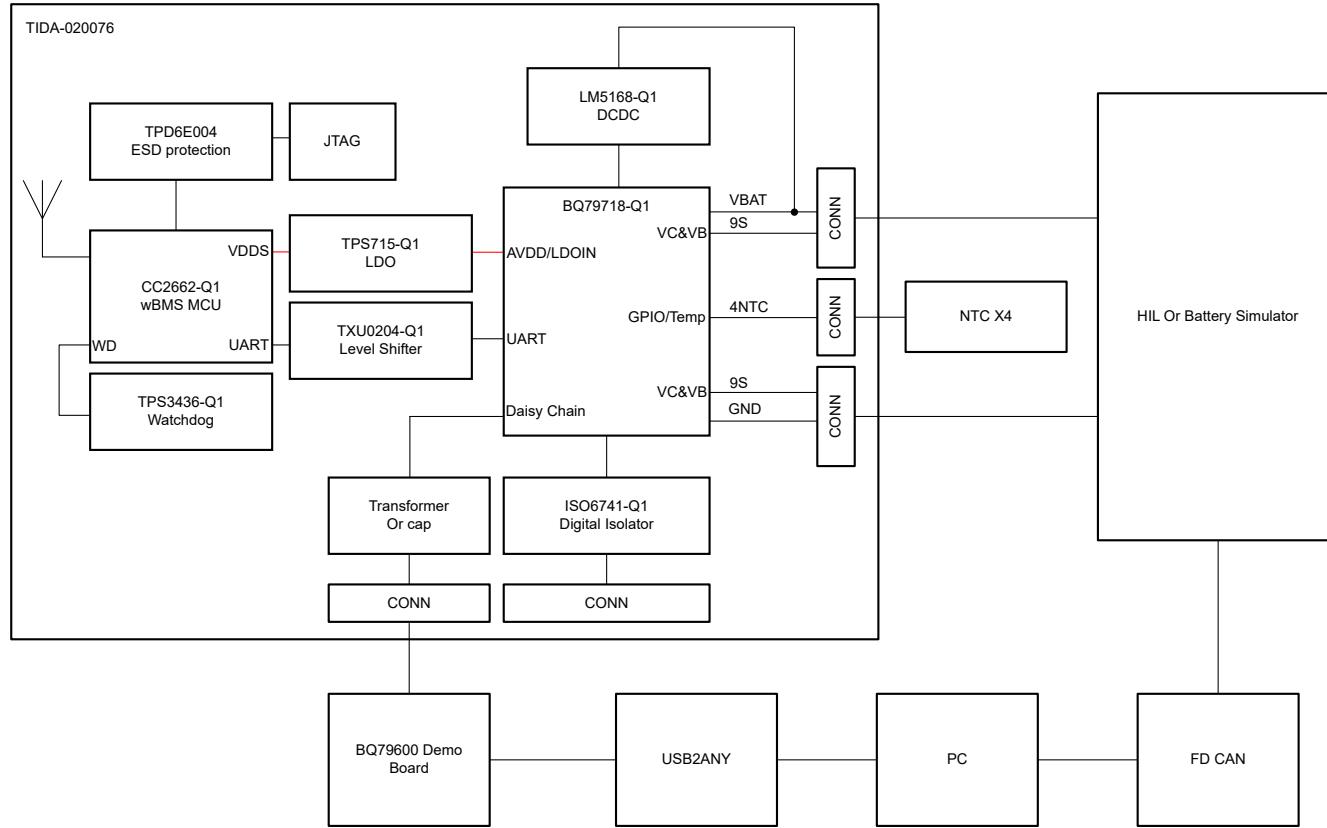


图 3-6. TIDA-020076 硬件测试设置

1. J17 和 J19 是 VB 和 CB 连接器。J23 是 NTC 连接器。首先，参考设计需要电源输入。将 J17 和 J19 连接到硬件在环 (HIL) 或电池模拟器，或者将 0Ω 电阻 ($R_{13}、R_{23}、R_{127}…R_{129}$) 更改为 $10k\Omega$ 电阻梯，并将电源连接在 J9 和 J11 之间。当选择电阻梯作为电源和电芯输入时，平衡功能不起作用。
2. 将 4 个真实 NTC 或电阻连接到 J23 作为 NTC 输入
3. J5 和 J10 是参考设计的菊花链输出。J5 是 COMH，J10 是 COML。此外，BQ79600 演示板上有两个连接器。将参考设计上的 COMH (COML) 连接到 BQ79600 演示板上的 COML (COMH)。
4. 需要使用 USB2ANY 接口适配器连接 BQ79600 演示板与 PC，以便 PC 上的 GUI 能够正常工作。要测试无线部分的功能，需要将 BQ79600 演示板和 USB2ANY 适配器替换为主 CC2662 无线演示板。
5. FD CAN 用于设置 HIL。使用电池模拟器或电阻梯作为电源和电芯输入时，不需要 FA CAN。

3.2.2 软件设置

此参考设计需要三款软件程序：

- [BQ797XX 器件 GUI](#)
- PCAN 视图
- [WBMS GUI](#)

对于 BQ797XX 器件 GUI：

1. 确保 USB2ANY 和 BQ79600 演示板连接正确，并且 BQ79600 演示板由来自 UAB2ANY (或电源) 的 5V 输入供电
2. 连接到 PC 并打开 BQ797XX 器件 GUI，选择桥接器件，默认为 UART 模式：

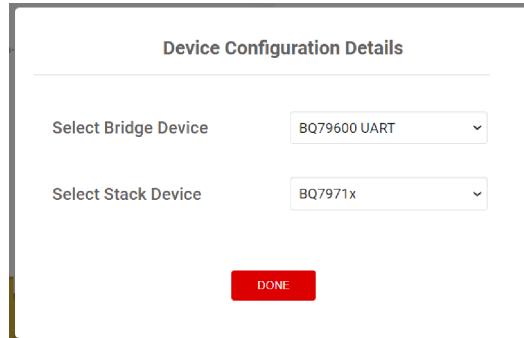


图 3-7. TIDA-020076 软件测试设置：BQ797XX 器件 GUI 连接

3. 左下角显示 *USB2ANY/OneDemo device Hardware Connected*。
4. 点击左侧的电池模式按钮，然后逐个点击顶部的按钮：*POWER DOWN*、*WAKE UP DEVICE* 和 *AUTO ADDRESS*：

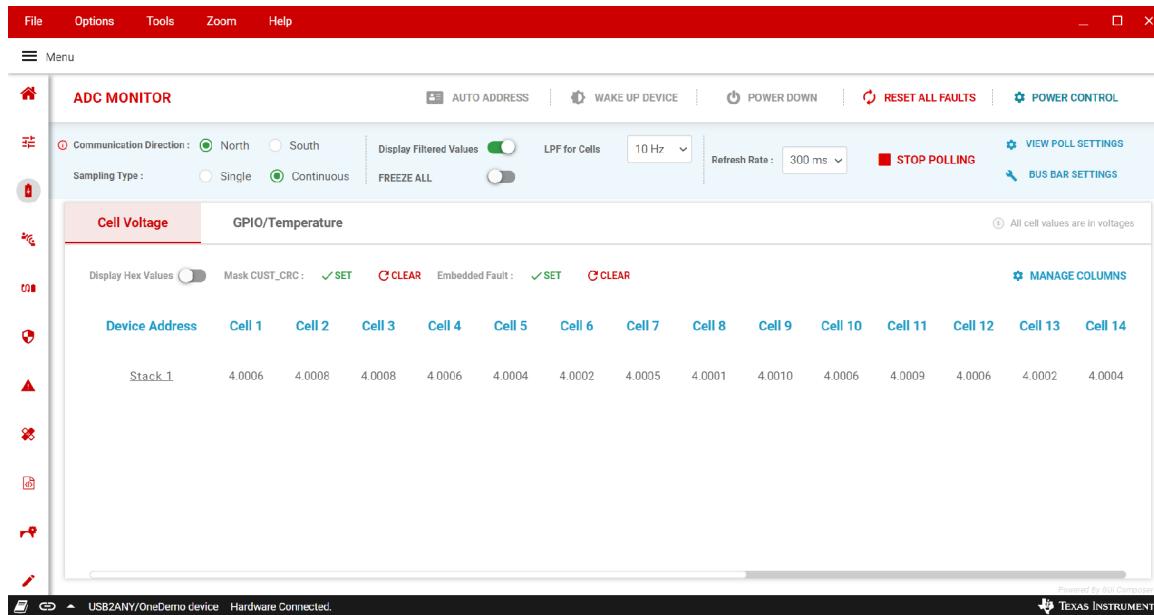


图 3-8. TIDA-020076 软件测试设置：BQ797XX 器件 GUI 自动地址

5. 对于平衡设置，点击左侧的电芯平衡模式按钮，选择 *Auto* 模式，然后在顶部设置平衡时间，点击左上角的 *RUN* 开始平衡，点击 *PAUSE BALANCING* 暂停并将平衡时间设置为 0s 即可停止。

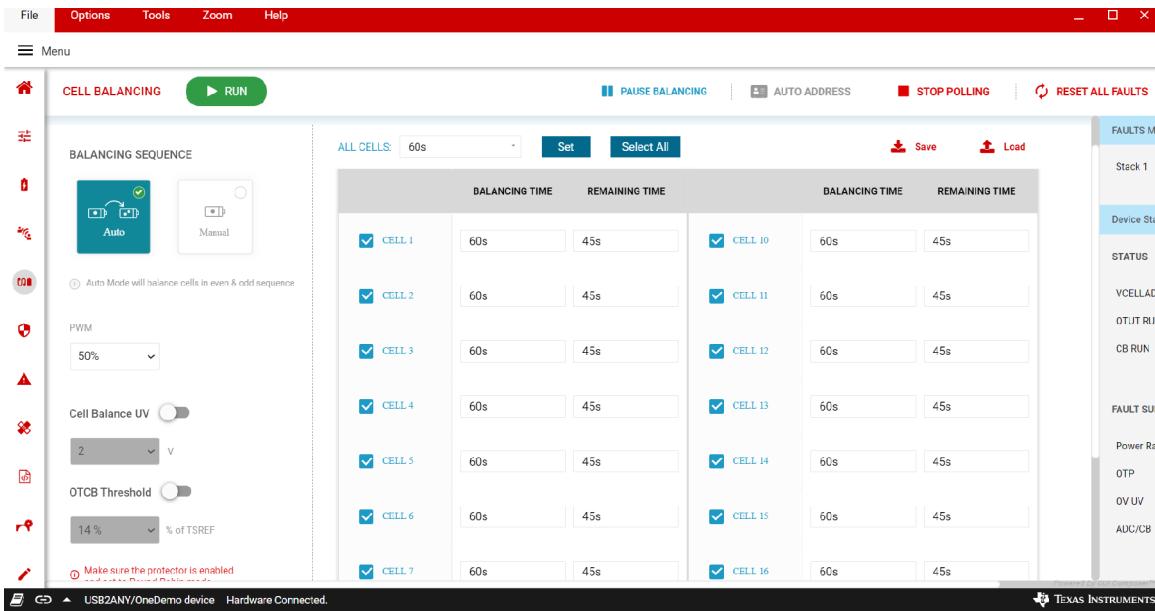


图 3-9. TIDA-020076 软件测试设置 : BQ797XX 器件 GUI 电芯平衡

有关 PCAN 视图 , 请参见图 3-10 和以下列表 :

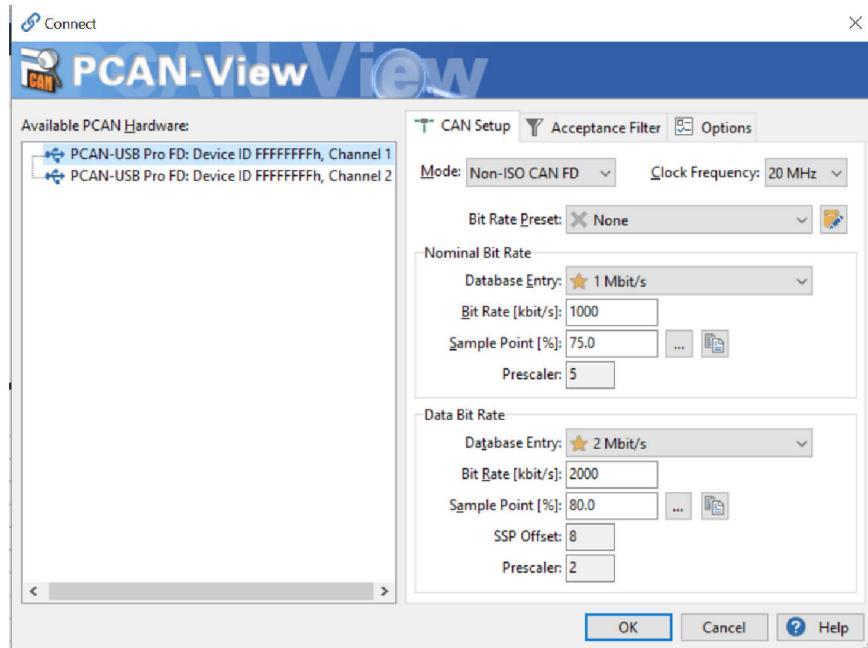


图 3-10. TIDA-020076 软件测试设置 : PCAN 视图

1. 将 PCAN 连接在 HIL 和 PC 之间
2. 选择通道 1 , 保持默认设置 , 如图 3-10 所示
3. 按如下所示将通道电压设置为 4V :

```

501h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h

```

```

502h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
505h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h
505h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 01h 00h 00h

```

4. 关闭电芯电压输入：

```

501h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 83h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 43h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
505h 0 8 D 13h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h
505h 0 8 D 23h 80h 3Eh F4h 01h 02h 00h 00h

```

5. 将通道电压设置为 3V：

```

501h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
501h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
502h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
503h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
504h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
505h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h
505h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 01h 00h 00h

```

6. 关闭电芯电压输入：

```

501h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
501h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
502h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
503h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 83h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
504h 0 8 D 43h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
505h 0 8 D 13h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h
505h 0 8 D 23h E0h 2Eh F4h 01h 02h 00h 00h

```

选择 [SIMPLELINK-WBMS-SDK GUI](#) 链接下载 SDK 设置。

3.3 测试结果

要测量测试结果，需要准备一个数字万用表来测量输入 NTC 的电阻。当 HIL 电芯输入通过 PCAN 设置为 4V 时，将测试设置中显示的所有部分连接起来，然后逐步进行测量。图 3-11 展示了测试结果。

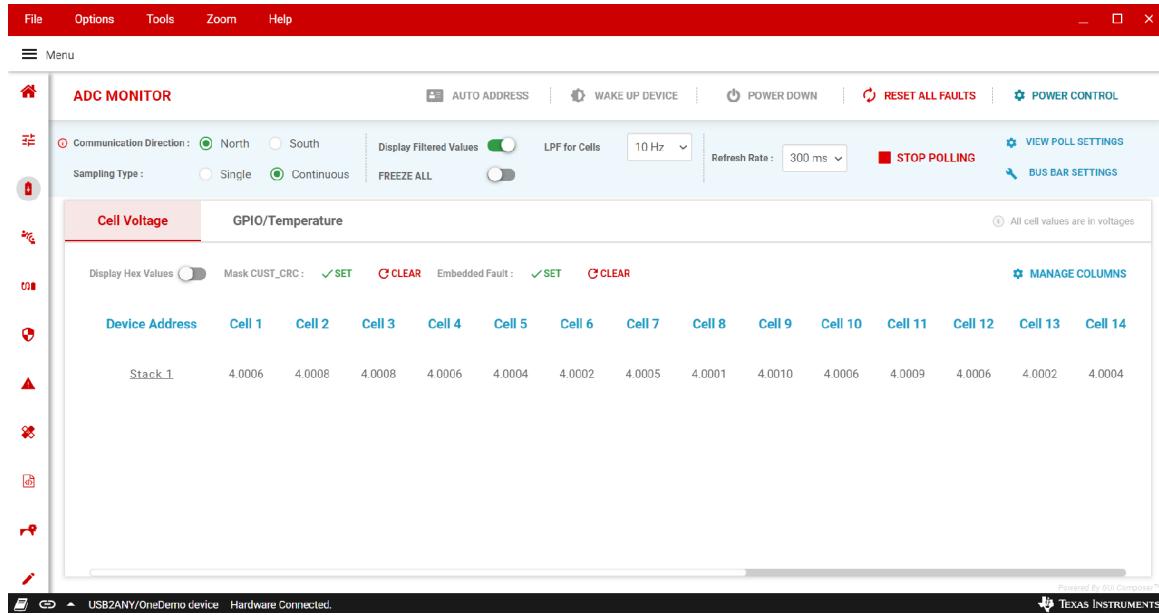


图 3-11. TIDA-020076 测试结果：4V 电芯输入

所有通道电芯电压值均可通过 BQ797XX 器件 GUI 读取。

通过 PCAN 将电芯电压输入设置为 3V。图 3-12 展示了测试结果。

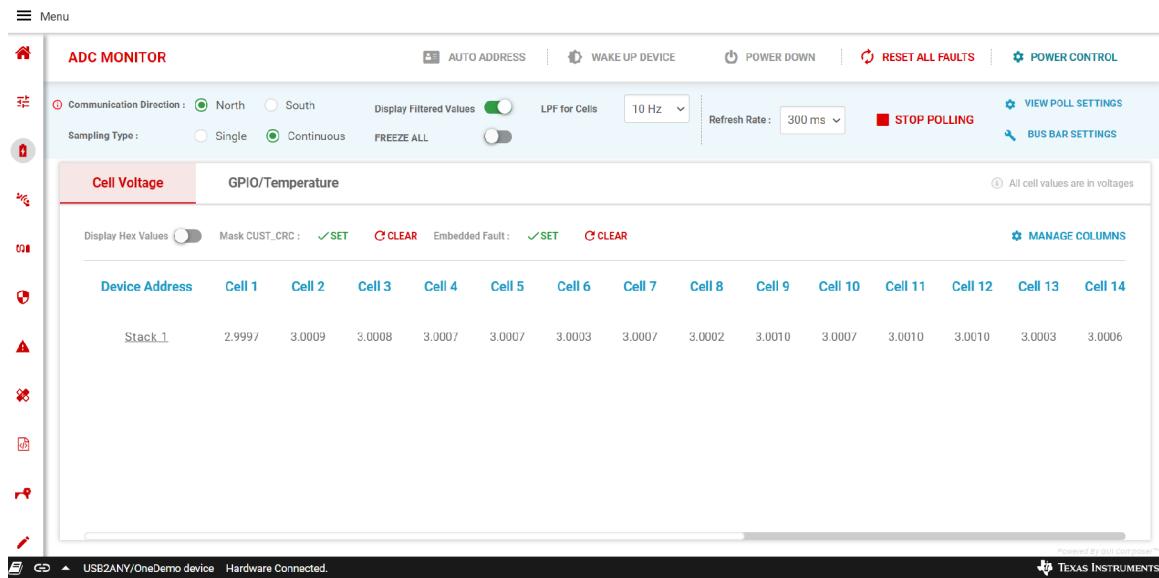


图 3-12. TIDA-020076 测试结果：3V 电芯输入

将所有值记录到表 3-1 中。

表 3-1. 所有通道电芯电压

| 通道 | VALVE_4V | ACCURACY_4V | VALVE_3V | ACCURACY_3V | 单位 |
|--------|----------|-------------|----------|-------------|----|
| CELL1 | 4000.6 | 0.6 | 2999.7 | -0.3 | mV |
| CELL2 | 4000.8 | 0.8 | 3000.9 | 0.9 | mV |
| CELL3 | 4000.8 | 0.8 | 3000.8 | 0.8 | mV |
| CELL4 | 4000.6 | 0.6 | 3000.7 | 0.7 | mV |
| CELL5 | 4000.4 | 0.4 | 3000.7 | 0.7 | mV |
| CELL6 | 4000.2 | 0.2 | 3000.3 | 0.3 | mV |
| CELL7 | 4000.5 | 0.5 | 3000.7 | 0.7 | mV |
| CELL8 | 4000.1 | 0.1 | 3000.2 | 0.2 | mV |
| CELL9 | 4001.0 | 1.0 | 3001.0 | 1.0 | mV |
| CELL10 | 4000.6 | 0.6 | 3000.7 | 0.7 | mV |
| CELL11 | 4000.9 | 0.9 | 3001.0 | 1.0 | mV |
| CELL12 | 4000.6 | 0.6 | 3001.0 | 1.0 | mV |
| CELL13 | 4000.2 | 0.2 | 3000.3 | 0.3 | mV |
| CELL14 | 4000.4 | 0.4 | 3000.6 | 0.6 | mV |
| CELL15 | 4000.4 | 0.4 | 3000.6 | 0.6 | mV |
| CELL16 | 4000.3 | 0.3 | 3000.2 | 0.2 | mV |
| CELL17 | 4000.6 | 0.6 | 3000.8 | 0.8 | mV |
| CELL18 | 4000.8 | 0.8 | 3001.0 | 1.0 | mV |

第一列列出了所有 18 个通道。第二列和第四列显示了当 HIL 输出设置为 4V 和 3V 时通过 BQ797XX 器件 GUI 读取的电芯值。第三列和第五列显示了精度值。所有值和精度测量值均在规格范围内。

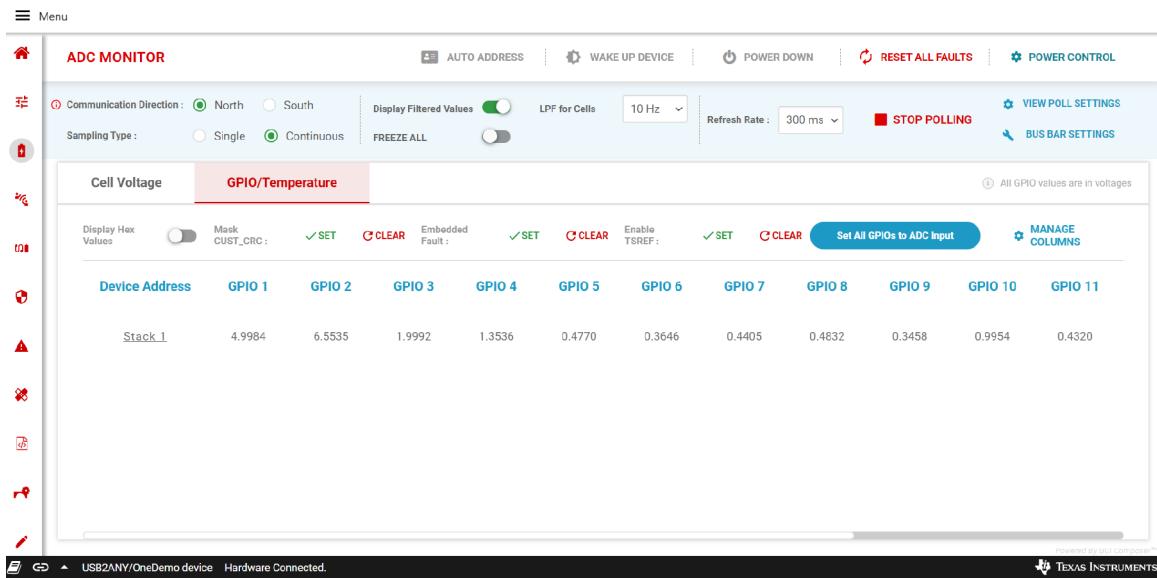


图 3-13. TIDA-020076 测试结果 : NTC

该设计包括四个 NTC 输出。选择四个不同阻值的电阻器并按测试设置所示进行连接。按照测试设置分步进行操作，选择 **GPIO/Temperature** 视图。表 3-2 显示了所有值。

表 3-2. NTC 测量

| 项目 | 典型值 | 测量 | 计算 | 精度 | 单位 |
|----------|-----|--------|--------|-----|----|
| TSREF | 4 | 3.9998 | | | V |
| R_Pullup | 10 | | | 1% | kΩ |
| R_Pulldo | 10 | | | 1% | Ω |
| R_NTC1 | | 1.2083 | | | kΩ |
| V_NTC1 | | 432 | 430.8 | 1.2 | mV |
| R_NTC2 | | 3.3086 | | | kΩ |
| V_NTC2 | | 995.4 | 993.6 | 1.8 | mV |
| R_NTC3 | | 5.1101 | | | kΩ |
| V_NTC3 | | 1353.6 | 1351.8 | 1.8 | mV |
| R_NTC4 | | 9.98 | | | kΩ |
| V_NTC4 | | 1999.2 | 1996.9 | 2.3 | mV |

在表 3-2 中，**TYP** 表示所有项目的典型值。**MEASURE** 表示通过 BQ797XX 器件 GUI 或数字万用表测量或读取的值。表 3-2 显示所有值和精度测量值均在规格范围内。

对于无线测试，需要将 BQ79600 和 USB2ANY 替换为主 CC2662 无线演示板。这种无线设置允许将参考设计放置在远离电池模块的另一张桌子上，通过 WBMS GUI 和测试设置进行操作。当所有硬件元件都准备就绪时，单击 **Start** 以便在 WBMS GUI 中显示值。

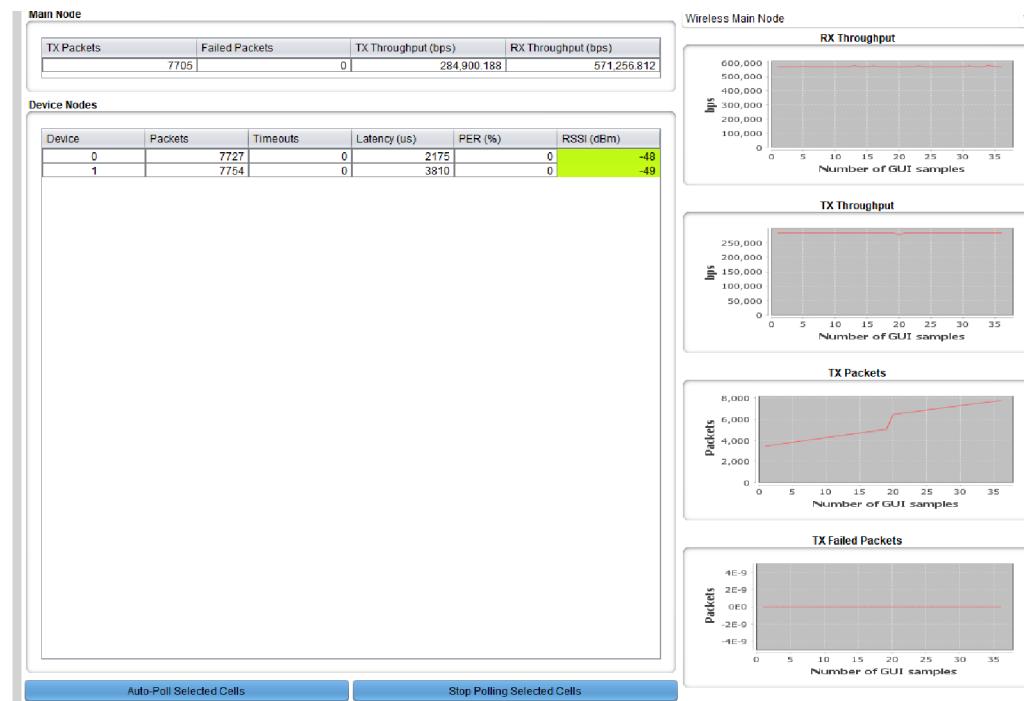


图 3-14. TIDA-020076 测试结果：WBMS GUI

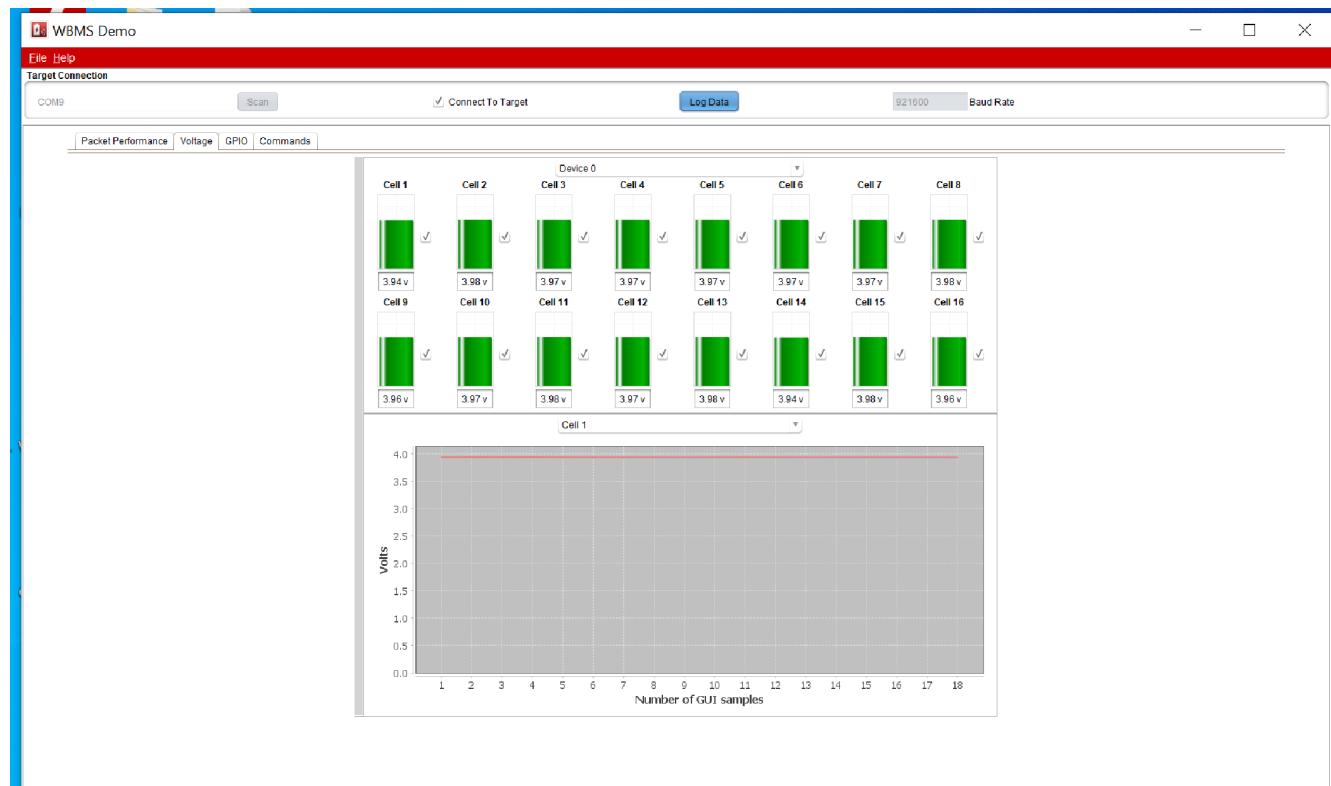


图 3-15. TIDA-020076 测试结果：无线电芯值

表 3-3. 无线电芯电压

| 通道 | 读取 | 测量 | 精度 | 单位 |
|--------|--------|--------|-----|----|
| CELL1 | 3941.2 | 3940.4 | 0.8 | mV |
| CELL2 | 3980.1 | 3979.1 | 1.0 | mV |
| CELL3 | 3970.2 | 3968.6 | 1.6 | mV |
| CELL4 | 3970.2 | 3969.2 | 1.0 | mV |
| CELL5 | 3970.4 | 3969.2 | 1.2 | mV |
| CELL6 | 3970.6 | 3969.4 | 1.2 | mV |
| CELL7 | 3970.4 | 3969.4 | 1.0 | mV |
| CELL8 | 3980.2 | 3979.6 | 0.6 | mV |
| CELL9 | 3962.8 | 3962.2 | 0.6 | mV |
| CELL10 | 3970.6 | 3969.4 | 1.2 | mV |
| CELL11 | 3980.4 | 3979.4 | 1.0 | mV |
| CELL12 | 3970.6 | 3969.6 | 1.0 | mV |
| CELL13 | 3981.0 | 3980.2 | 0.8 | mV |
| CELL14 | 3942.2 | 3941.4 | 0.8 | mV |
| CELL15 | 3980.8 | 3980.2 | 0.6 | mV |
| CELL16 | 3962.2 | 3961.6 | 0.6 | mV |
| CELL17 | 3970.2 | 3969.4 | 0.8 | mV |
| CELL18 | 3981.4 | 3980.2 | 1.2 | mV |

各图像和表显示了 RSSI 值和电芯电压处于规格范围内。

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-020076](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-020076](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

| | |
|-------------------------------|---|
| USB2ANY | USB2ANY 接口适配器 |
| BQ79600EVM | 具备自动主机唤醒功能且符合功能安全标准的 SPI/UART 转菊花链桥接接口 |
| CC2662RQ1-EVM | 适用于多标准 SimpleLink™ 无线 MCU 的 CC26x2R LaunchPad™ 开发套件 |

软件

| | |
|-------------------------------------|---|
| SLVC695 | USB2ANY Explorer 软件 |
| BQ797XX GUI | BQ797XX 器件 GUI |
| PCAN 视图 | PCAN 视图 |
| SIMPLELINK-WBMS-SDK | SimpleLink™ 无线电池管理系统 (BMS) 软件开发套件 (SDK) |

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[电动汽车电池管理中的有线与无线通信](#)
- 德州仪器 (TI)，[BQ79616-Q1 软件设计参考](#)

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™, SimpleLink™, and PowerPAD™ are trademarks of Texas Instruments.

蓝牙® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

Zigbee® is a registered trademark of Zigbee Alliance.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

ROBIN WANG 是德州仪器 (TI) 在中国上海的一名专攻电池管理系统 (BMS) 的系统工程师。

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