



说明

此参考设计展示了适用于电池供电设备（例如采用锂二氧化锰 (LiMnO₂) 原电池的智能流量计）且具有纳安级电流的升压、降压和降压/升压电源拓扑。该参考设计支持各种无线技术，包括：Sub-1GHz、BLE、NB-IoT 等。该设计可以为用于物联网应用的现成商用窄带模块供电。三种电源拓扑可与 [电池和系统运行状况监测参考设计](#) 硬件 (TIDA-01546) 搭配使用，从而为电池寿命提供高精度运行状况 (SOH) 计算。常开系统内电流监控可检测射频传输的电流峰值，并且在之后通过可调延迟安排 SOH 测量。

所有三种电源拓扑均可在宽负载范围（包括轻负载条件）内提供高效率，其中 TPS63900 在 10 μ A 负载下可实现高于 90% 的效率。这种轻负载条件下的高效率可以极大地降低待机操作期间的功耗，从而延长电池寿命。

资源

[TIDA-010053](#)、[TIDA-01546](#)

设计文件夹

[TPS610995](#)、[TPS63900](#)、[TPS62840](#)

产品文件夹

[CSD13385F5](#)

产品文件夹



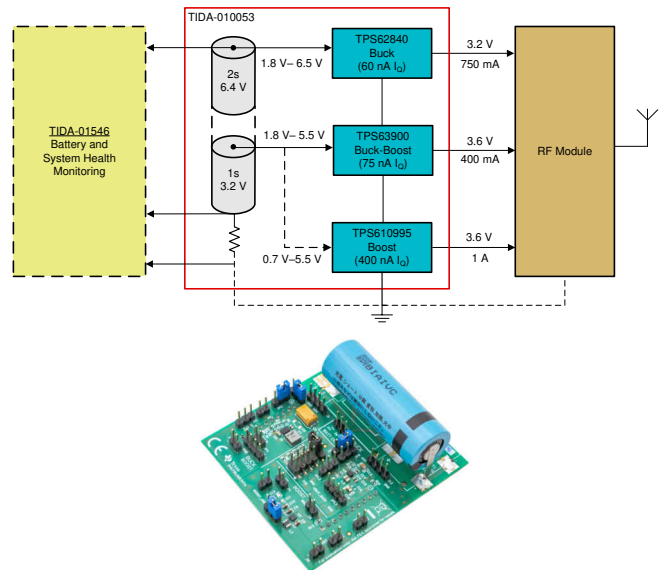
咨询我们的 E2E™ 专家

特性

- 三种适用于可扩展负载的电源拓扑：
 - TPS63900：I_Q 为 75nA 的 400mA 降压/升压
 - TPS610995：I_Q 为 400nA 的 1A 升压
 - TPS62840：I_Q 为 60nA 的 750mA 降压
- TPS63900 提供动态电压调节功能，允许应用于运行期间在两个输出电压之间进行切换。这样可以通过在待机操作期间使用更低的系统电源电压来节省电力。

应用

- 支持射频的应用包括：
 - 燃气表、水表、热量计、冷量计
 - 蜂窝式模块资产跟踪设备
 - 适用于物联网应用的 [资产跟踪传感器模块和标签](#)
 - [故障指示灯 \(FI\)](#)
 - 原电池供电型自动抄表 (AMR) 电子模块



该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统说明

配备电池电源的智能公用事业计量表（包括燃气表、水表和热量计）为如下各种无线通信技术带来了重要的市场机会：Sub-1GHz、BLE、NB-IoT 等。采用这些技术时，设计人员必须考虑一些权衡问题，以选择适当的协议。例如，Sub-1GHz 可实现高达 1600m 的传输距离，数据速率最高可达 500kbps。这些规格非常适合楼宇中的计量、烟雾探测器或温度传感器等应用。然而，当需要更大的吞吐量时，频率更高的协议可能更佳，例如 BLE，该协议可以在 2.4GHz 频段下支持 200m 至 400m 的距离 (LR)，吞吐量上限为 2Mbps。BLE 旨在实现超低功耗，它能够在由一节纽扣电池供电的情况下持续工作数年。从无线键盘到心率监测仪，应用非常广泛，因而是最广泛使用的无线技术。

该设计着重于 NB-IoT，该协议声称可以确保在楼宇内部实现可靠连接。NB-IoT 在城市环境中可实现 1km 的传输距离，吞吐量峰值为数十 kbps。NB-IoT 宣传的其他特点包括低器件单位成本、更高的室外和室内渗透覆盖率（与现有广域技术相比）、安全的连接、强大的身份验证以及简化的网络拓扑和部署。与所有现有的 LPWA 技术相比，后者似乎是一个主要优势，所有这些技术都需要安装和维护专用的射频网络，包括多个数据收集器或数据集中器器件，或两者兼而有之。

窄带物联网 (NB-IoT) 是一种基于第三代合作伙伴计划 (3GPP) 标准的低功耗广域 (LPWA) 技术，该技术使用获得许可的频谱并且可以与 3G 和 4G 蜂窝网络共存。NB-IoT 部署正在欧洲和北美进行，多家运营商推出了智能设备服务，例如车辆、互联医疗保健监视器、可穿戴设备、智能仪表、资产跟踪等。NB-IoT 不等于一些美国移动运营商使用的 LTE CAT-M（也被称为 LTE-M）物联网技术，因为 NB-IoT 是一个单独的网络，而不是运营商现有 LTE 网络的一部分。传感器网络的广泛可用性为几乎所有业务领域（包括工业运输和物流、工业自动化和公共部门）的创新且具有成本效益的 NB-IoT 解决方案铺平了道路。

3GPP 标准化蜂窝 LPWA 解决方案的主要优势在于得到了现有庞大生态系统的支持，因此可以更快地实现部署和扩展，并且拥有一个监管机构来执行标准并控制供应商和移动运营商之间的互操作性。3GPP 在其规范的[版本 13](#)和[版本 14](#)中提及支持该 LPWA 标准。

选择一种无线技术（此处为 NB-IoT）之后，必须研究电源要求以选择合适的电池架构。如果设计人员决定使用单节 LiMnO₂ 原电池作为其电源，则需要使用升压配置来保持电池电压（例如 3.3V），在整个寿命期间，该电池的电压将在 3.2V 和 2.0V 之间变化。或者，在选择两节串联电池后，必须使用降压转换器。使用降压转换器将使两节串联电池的电压降至无线模块指定的值。使用 1 芯或 2 芯配置之间的主要权衡是成本和尺寸与电池寿命。本参考设计对 1 芯和 2 芯配置都进行了探讨。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	规范	详细信息
电池电压：3.2 或 6.4V (1s 或 2s 配置)	LiMnO ₂ 原电池 (FDK CR17500EP)	节 2
功耗 (负载)	电子负载或标准 NB-IoT 射频模块	节 2.4.4
平均活动状态电流消耗 (射频传输模式)	250mA	节 3.2.1
工作状态持续时间	24ms 或 384ms	节 3.2.1
I _Q 静态电流	TPS62840 : 60nA (典型值) TPS63900 : 75nA (典型值) TPS610995 : 400nA (典型值)	节 2.3
待机状态持续时间	29.616s 或 9.616s (加速电池放电测试)	节 3.2.2.1
每小时的 TX 操作数	每 30 秒 1 次或每 10 秒 1 次 (加速电池放电测试)	节 3.2.1
估算能耗	在 384ms 传输脉冲下为 2053mAh (温度为 20 - 30°C , 无转换损耗 , 具有 100% 的电池寿命)	节 3.2.2.4
测量的电池寿命	> 15 年 (温度为 20 - 30°C , 每天有 4 个射频传输周期)	节 3.2.2

2 系统概览

LiMnO₂ 原电池在许多支持物联网的应用中变得越来越流行，因为它们能够提供高达 4000mA 峰值的高电流脉冲（请参阅 [FDK CR17500EP 数据表](#)），而不会出现任何性能下降情况，并且不需要外部混合层电容器 (HLC) 或超级脉冲电容器 (SPC)，而这两者是 LiSoCl₂ 原电池所必需的。LiMnO₂ 电池被认为毒性较小，并且即使安装在最终产品内部的非最佳位置，其容量也不会降低。

LiMnO₂ 电池的主要缺点是电池电压较低，在 23°C 时新电池的起始电压大约为 3.2V，然后逐渐降至 2.0V；后者是截止电压（或寿命终止）的常用值。

许多常见的 NB-IoT 蜂窝模块（如 u-blox SARA-N211 或 Quectel BC95-B8）需要至少 3.1V 或更高的电源电压才能正常运行。因此，如果使用单节 LiMnO₂ 电池，升压功能就变得必不可少，这对于许多住宅型仪表（例如燃气表、水表以及热量计或冷量计）而言是常见的情况。

在许多应用中，可能优先使用两节串联电池，此时用于将输入电压下调的降压拓扑是适用的。

2.1 方框图

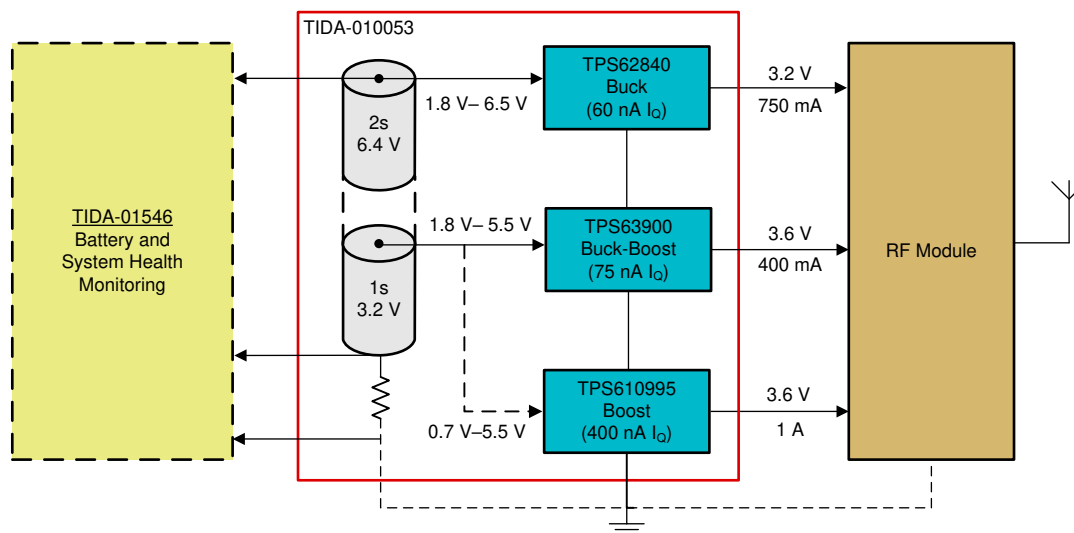


图 2-1. TIDA-010053 方框图

2.2 设计注意事项

TIDA-010053 参考设计结合了 TPS62840（降压转换器）、TPS63900（降压/升压转换器）和 TPS610995（升压转换器）。负载可以是连接到蜂窝网络的 NB-IoT 模块，也可以是模拟负载分布的电子负载。降压/升压器件和升压器件支持单节 LiMnO₂ 原电池配置，而降压器件支持采用两节串联原电池的用例。

智能电表应用中存在多种约束，这将影响对电源架构的选择。智能水表、热量计或冷量计以及用于机械流量计的附加射频模块实际上通常受到尺寸限制（对于水表，请参阅标准文档 EN1434；对于热量计，请参阅 EN4064）。这些仪表中的大多数由单节原电池供电，例如，如果在 868MHz 工业、科技、医疗 (ISM) 未经许可的频带使用 wM-Bus 射频协议 (EN13757) T 或 C 模式进行数据通信，则具有 1 - 2Ah 容量且支持射频功能的电子附加模块可实现至少 5-6 年的寿命。

新型 NB-IoT 通信模块提供与现有 Sub-1GHz 射频解决方案类似的机械尺寸和 PCB 尺寸，但能够提供更大的覆盖范围，这是以更高的平均功耗为代价的，同时在经许可的移动网络频带中使用更高的发射功率。

移动网络由移动运营商控制（包括严重影响 NB-IoT 模块功耗的节能功能），因此几乎无法预测智能电表或任何其他物联网产品内 NB-IoT 模块的电池寿命。

该参考设计为该难题提出了解决方案，即通过使用专用器件（如在 TIDA-01546 设计中实现的 BQ35100）测量电池消耗量。通过集成 BQ35100 电池电量计器件，可以在系统内精确测量 LiMnO₂ 电池的运行状况 (SOH) 并通过 NB-IoT 网络无线报告 SOH 值。通过 BQ35100 器件更新 SOH 状态大约需要一秒钟，并且更新的频率很低，例如

在开始使用一节全新的原电池时在几周甚至几个月后才更新一次，以节省能源。可以根据一种算法来连续调整随后的 SOH 更新周期，该算法考虑了预期的电池消耗量并将其与测量的 SOH 数据相关联，请参阅节 3.2.2.1。

为了获得最高的 SOH 精度，TI 建议仅在用于射频传输的高电流脉冲发生后经过足够的弛豫时间后，才使用 BQ35100 器件测量电池。例如，BQ35100 电池电量计器件在用于 NB-IoT 数据传输的最后一个电流脉冲后 10 分钟启用，但可以将 10 分钟延迟周期编程为任何合适的值。TIDA-01546 设计中的 ADS7142 系统运行状况监视器用于检测高电流脉冲，应用在等待适当的电池弛豫时间之后再执行 SOH 测量。

2.3 主要产品

TIDA-010053 设计包含三款先进的电源开关器件，其中升压以及降压/升压器件支持将单节 LiMnO₂ 原电池的电压升压至 3.6V。具有超低 I_Q 电流的降压器件支持使用两节串联的原电池，并将输出电压调节至 3.3V。

2.3.1 TPS63900：具有 75nA 超低静态电流和 400mA 输出电流、输入电压为 1.8V-5.5V 的降压/升压转换器

TPS63900 器件是一款具有超低静态电流（典型值为 75nA）的高效（在 10 μ A 负载电流下大于 90%）同步降压/升压转换器。宽负载范围内的高效率 and 低 I_Q 值有助于延长电池寿命。凭借其宽电源电压范围和可编程的输入电流限制（1mA 至 10mA 和无限制），该器件非常适合与 3S 碱性电池、1S Li-MnO₂ 或 1S Li-SOCl₂ 等各种一次电池和二次电池搭配使用。

2 级动态电压调节功能使应用能够在运行期间在两个输出电压之间切换。利用 DVS 可以优化重载和轻载运行的输出电压，从而降低系统总功耗。当 SEL 引脚改变状态时，输出电压会以 100mV 的阶跃增大至新值。每个阶跃的持续时间为 125 μ s。

TPS63900 使用梯形电感器电流在所有工作条件下调节其输出。因此，该器件只有一种工作模式，并且不显示许多其他降压/升压器件所显示的任何模式变化瞬态或不可预测的切换。TPS63900 器件的开关频率会因工作条件而异：当输出电流为低电流时，开关频率最小；而随着输出电流增大，开关频率会平缓升高。

TPS63900 具有广泛的安全和操作功能。这些功能包括集成软启动、输出短路保护和过热保护。TPS63900 还具有可编程输入电流限制 (1mA 至 100mA 和无限制)，以保护不支持高峰值电流的电池。

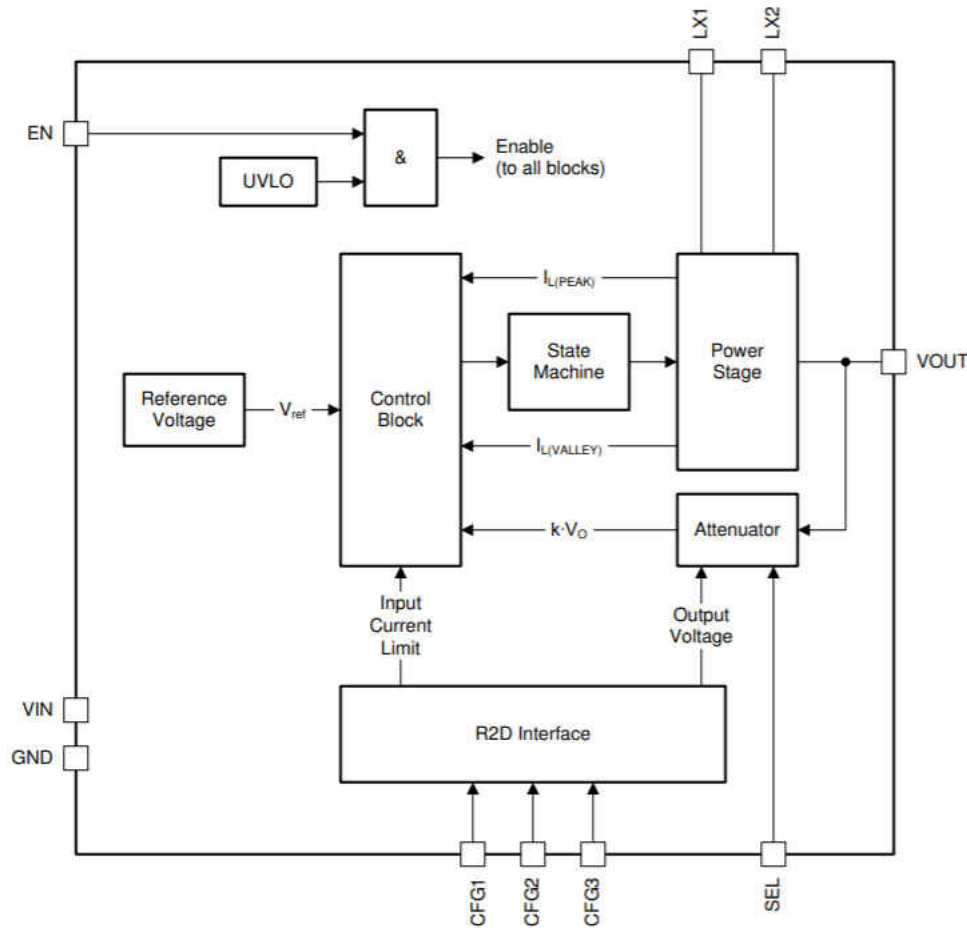


图 2-2. TPS63900 功能方框图

该器件具有三个用于控制其运行的配置引脚 (CFG1、CFG2 和 CFG3)。当该器件启动时,电阻器到数字 (R2D) 接口读取 CFG 引脚上的配置电阻器值并将设置传输到内部配置寄存器。为了降低功耗,该器件在启动期间读取连接到配置引脚的电阻器的值,然后禁用这些引脚。

2.3.2 TPS610995 : 具有 400nA 超低静态电流和 1A 峰值电流、输入电压为 0.7V 的同步升压转换器

TPS610995 器件是一款具有超低静态电流 (最大值为 1 μ A, 典型值为 400nA) 的同步升压转换器。该器件专为由碱性电池、可充电镍氢电池、LiMnO₂ 电池或可充电锂离子电池供电的产品而设计,对于这些产品,能够在轻载条件下高效运行是实现较长电池寿命的关键。

TPS610995 升压转换器采用迟滞控制拓扑,能够以最小的静态电流实现最高的效率。该器件在轻载条件下仅消耗 1 μ A 静态电流,在 10 μ A 负载下可实现高达 75% 的效率 (固定输出电压版本)。此外,该器件在 3.3V 至 5V 转换过程中支持高达 300mA 的输出电流,在 200mA 负载条件下可实现高达 93% 的效率。

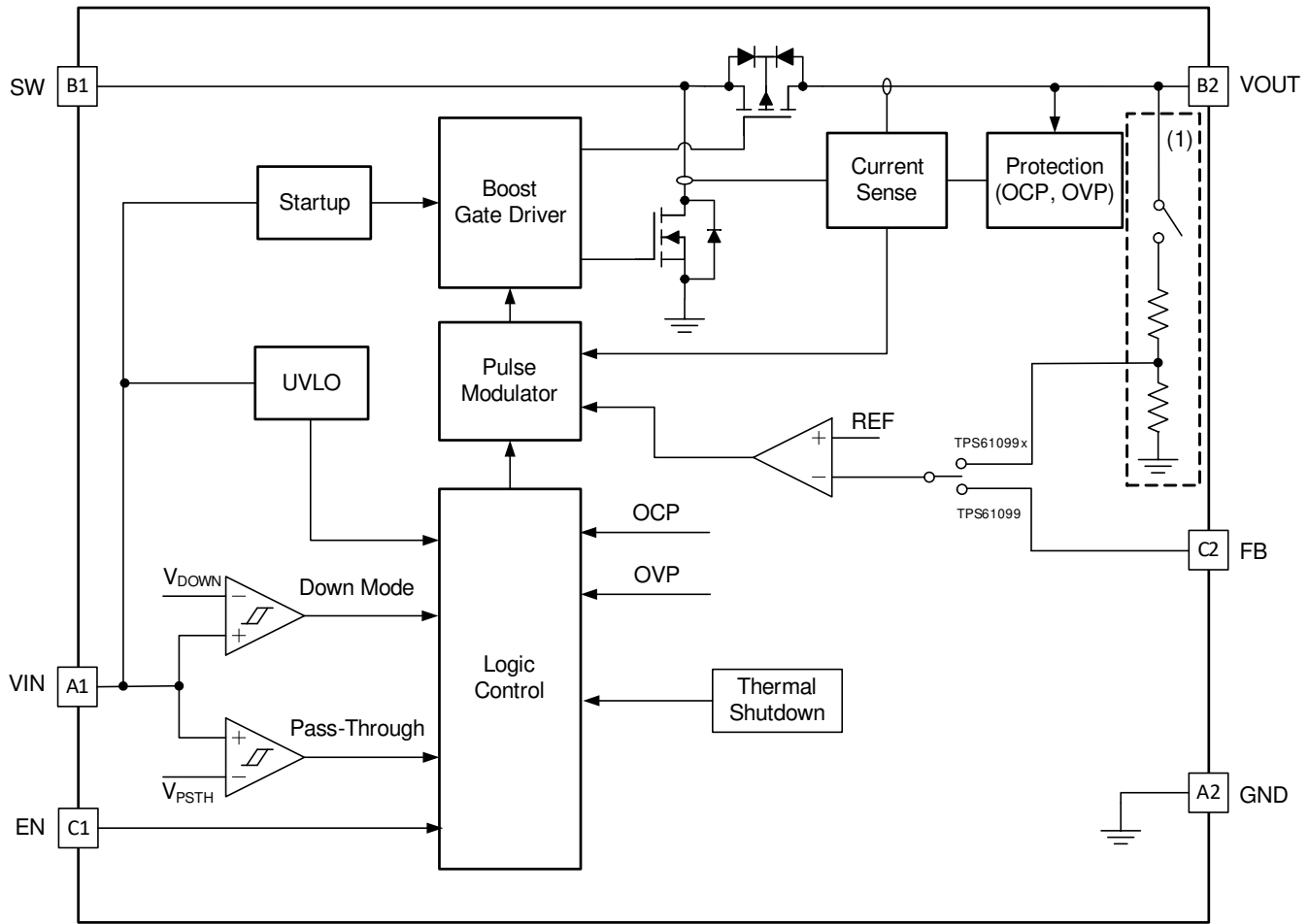


图 2-3. TPS610995 功能方框图

TPS610995 还为不同应用提供降压模式和直通操作。在降压模式下，即使输入电压高于输出电压，输出电压仍可调节为目标值。在直通模式下，输出电压与输入电压保持一致。当 $V_{IN} > V_{OUT} + 0.5V$ 时，TPS610995 退出降压模式并转入直通模式。

TPS61099 系列器件在禁用状态下能够将负载与输入电源断开，真正实现关断，从而降低电流消耗。提供可调输出电压版本和固定输出电压器件版本，例如本参考设计中使用的 TPS610995 器件。该器件采用 6 焊球 $1.23mm \times 0.88mm$ WCSP 封装和 6 引脚 $2mm \times 2mm$ WSON 封装。

2.3.3 TPS62840：具有超低静态电流消耗的 750mA 同步降压转换器

TPS62840 器件是一款同步降压转换器，具有超低的静态电流消耗。凭借 TI 的 DCS-Control™ 拓扑，该器件进一步扩大高效工作区域，使得节能模式运行期间负载电流达到微安级别。

TI 的 DCS-Control (可无缝切换到节能模式的直接控制) 是一种融合了迟滞和电压模式控制优势的高级调节拓扑。DCS-Control 的特性包括出色的交流负载调节和瞬态响应、低输出纹波电压以及 PFM 和 PWM 工作模式之间的无缝转换。DCS-Control 包含的交流环路可检测输出电压 (VOS 引脚)，并将该信息直接馈入快速比较器级。

该器件的准固定频率为 1.8MHz (典型值)。使用了高增益电压反馈环路以实现精确的直流负载稳压。为了在轻负载条件 (即 IOUT 为 mA 量级) 下节省额外的静态电流，关闭了内部误差放大器，从而将对直流线路和负载调节特性的影响降至最低。内部补偿稳压网络使用小型外部元件和低 ESR 电容器实现快速稳定的运行。

在节能模式下，开关频率随负载电流呈线性变化。DCS-Control 可以通过单个构建块支持这两种工作模式，因此可以从 PWM 无缝转换到 PFM，同时最大限度地降低输出电压纹波。TPS62840 器件提供出色的直流电压调节和负载瞬态调节，并具有低输出电压纹波，从而能够最大限度地降低对射频电路的干扰。

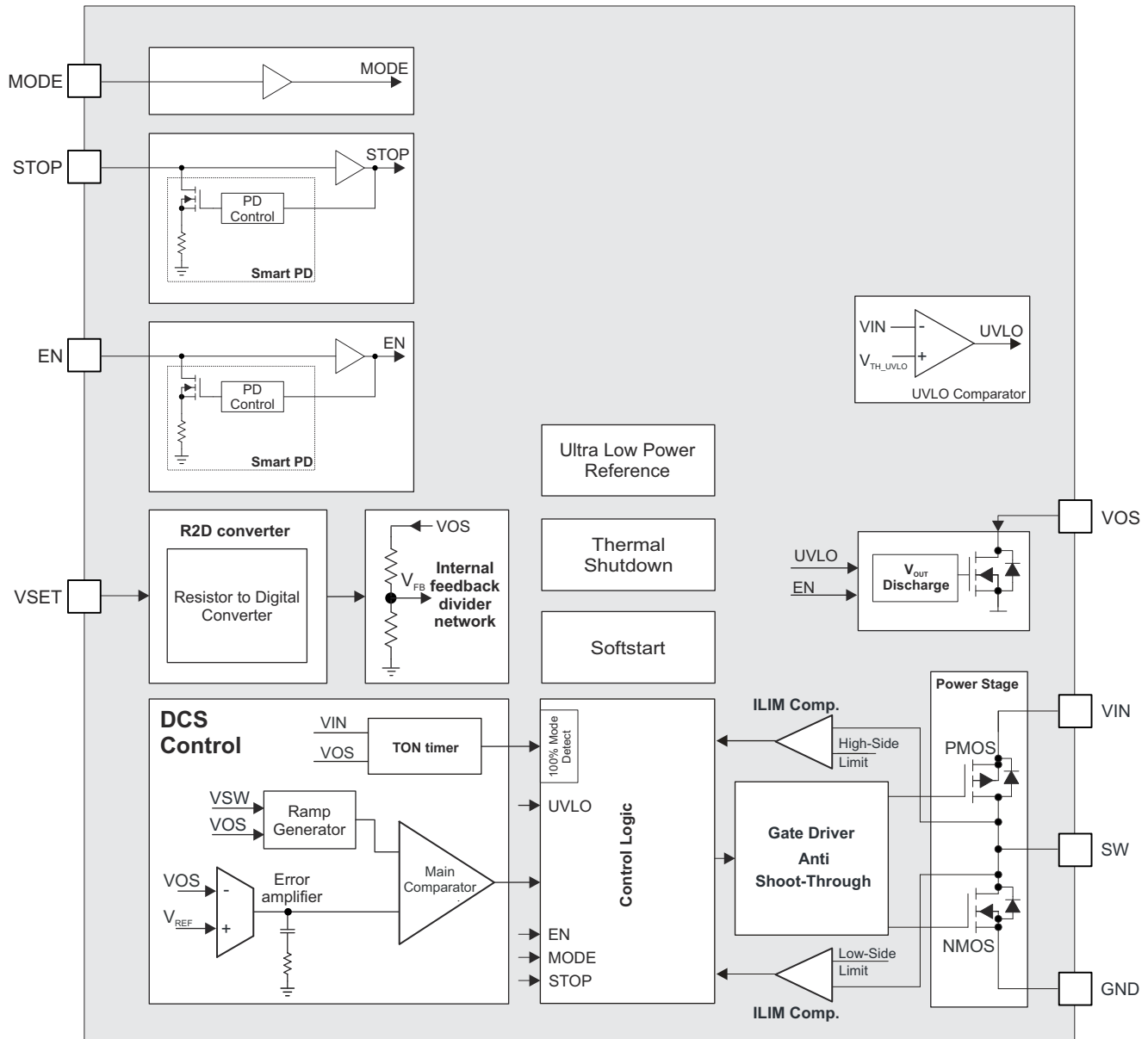


图 2-4. TPS62840 功能方框图

在轻负载条件下，该器件会无缝进入节能模式，以减少开关周期数并保持高效率。通过将电阻器连接到 VSET 引脚，可以实现 16 种预定义的输出电压选项，从而使该器件只需很少的外部元件就能够灵活地用于各种应用。

2.4 系统设计原理

智能仪表的预测性维护是 TIDA-01546 设计解决的主要主题之一，并且它与许多其他物联网应用（例如电池供电的传感器节点）变得越来越相关。

TIDA-01546 参考设计旨在准确监测不可充电锂电池的电池运行状况并检测系统中的任何过流情况。TM4C1294 MCU 经过编程，以控制 BQ35100 电池电量计监控器和 ADS7142 传感器监控器。插入 SD 卡插槽的 microSD™ 卡可以记录电池监测数据。

TIDA-01546 参考设计的系统运行状况监控部分在运行期间监测用户可定义的过流情况，通过 ADS7142 电流监视器和 LPV521 运算放大器实现。主机 MCU (TM4C1294) 通过 I2C 接口与 ADS7142 器件进行通信，该器件具有一个带专用 ALERT 输出引脚的数字窗口比较器，用于在超过软件可编程高阈值或低阈值时中断主机。

2.4.1 电池电量计 BQ35100

有关 BQ35100 器件如何工作的详细信息，请参阅 [TIDA-01546](#) 的 [电池供电型智能流量计的电池和系统运行状况监控参考设计指南](#)。对于电子负载和 NB-IoT 模块测试，TI 为 FDK CR17500EP 电池生成了一个特殊的参考文件（也被称为 ChemID），可以利用此文件对该电池进行精确的 SOH 测量。

如 [节 3.1.4](#) 所述，在某个给定的时间，TIDA-010053 的两个电源器件中只有一个通过 FDK 电池为 NB-IoT 模块（或开始的电子负载）供电。

2.4.2 系统内电流监测

[TIDA-01546](#) 参考设计的第二个相关子系统使用 ADS7142 毫微功耗 SAR ADC 器件，该器件可以测量 0 - 10 μ A 的低电流范围和 0 - 476mA 的高电流范围。范围选择是有意进行的，因为通常在超低功耗计量模式下，智能流量计器件使用小于 10 μ A 的平均电流。当智能仪表或物联网应用在运行 NB-IoT 通信（或具有相应电流分布的任何其他无线通信，例如功率高达 +25dBm 的 169MHz 频带下的 wM-Bus N 模式传输）时，使用高达 476mA 的第二个范围。这两个电流分布范围与两个 NB-IoT 模块的节能模式和活动模式的数据表值（[节 2.4.3](#) 和 [节 2.4.4](#) 对此进行了介绍）非常吻合。

2.4.2.1 两个电流范围的电阻器值计算

下面介绍了设计人员如何仅通过两个步骤就可以定制两个电流范围以支持许多其他由电池供电的物联网应用：

- 更改（如有必要）[TIDA-01546](#) 系统监控子系统原理图中 R32 和 R33 的值（请参阅 [图 2-5](#)）
- 对 ADS7142 器件的高阈值和低阈值寄存器进行软件修改

默认电阻器值 R32 = 6.8k Ω 和 R33 = 0.1 Ω 定义了范围 0 μ A - 10 μ A 和 0mA - 476mA，并在每个范围中实现了足够高的精度和分辨率。根据应用的负载分布选择电阻器。请注意，在许多情况下，负载分布有两个以上的电流范围，因此设计人员需要对这种选择进行一些简化。

通过将两个范围分开，可以准确测量低至 300nA 的超低电流（请参阅 [电池供电型智能流量计的电池和系统运行状况监控参考设计指南](#)）以及比该值高六个数量级的高达 476mA 的电流。

仅当系统在可能的负载分布转换后达到稳定并在 0 - 10 μ A 范围内运行时，使用 R32 = 6800 Ω ，这通常是许多智能流量计大部分运行时间的情况。

使用 ADS7142 器件进行系统监控的原理为：不断将应用消耗的电流与高阈值和低阈值进行比较，并在超过其中一个阈值时通过 ALERT 引脚向 TM4C 主机 MCU 发出警报。

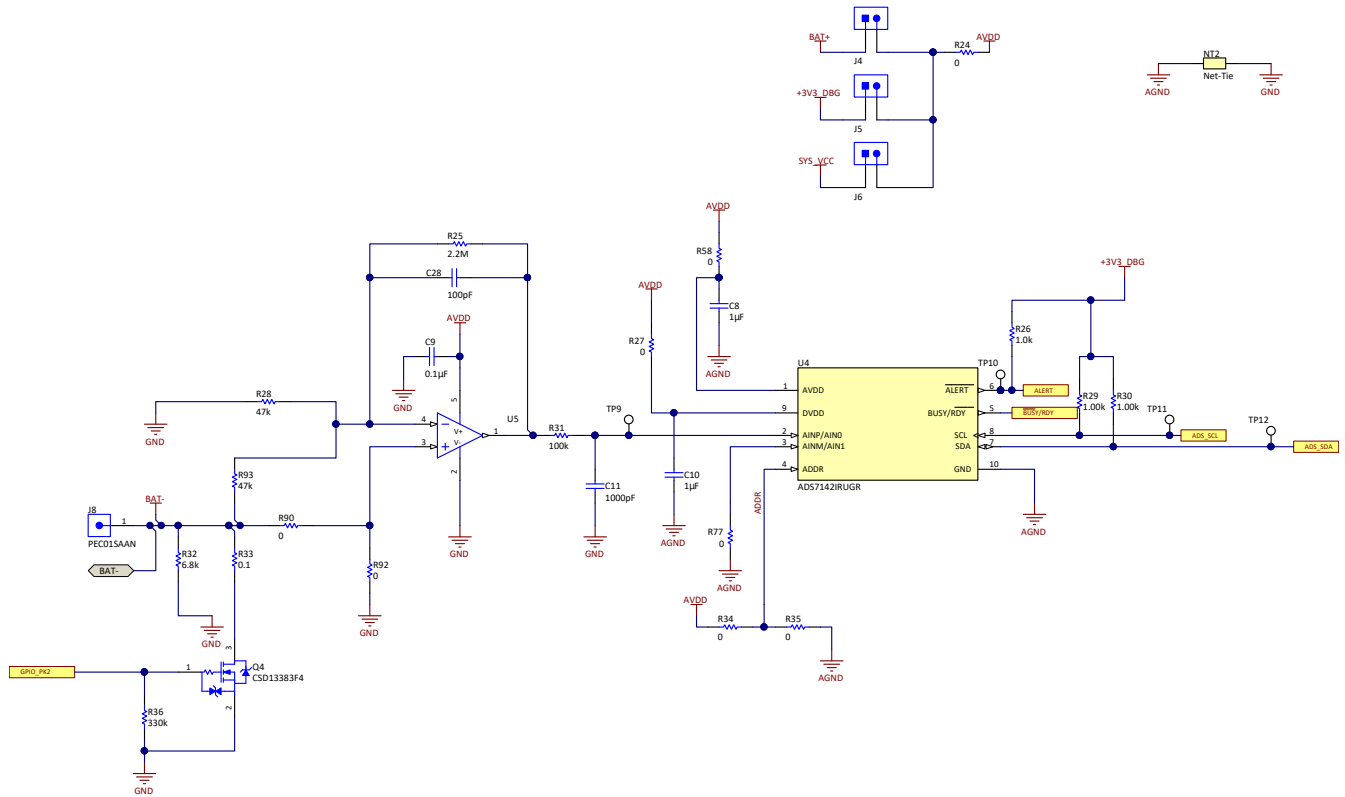


图 2-5. TIDA-01546 中用于系统运行状况监控子系统的分流器

当电流上升到所编程的高阈值水平以上时，将触发 ALERT 高阈值事件并且 TM4C MCU 中断。仅当系统已经在低电流范围内运行时，主机才会开启 CSD13383F4 FemtoFET™ 器件，从而使电流能够流过 R33。因此，根据现有数据表值，现在的总电阻为 $R_{32} \parallel (R_{33} + CSD R_{DS(on)})$ ，其中假定 $R_{DS(on)}$ 为 $45m\Omega$ (电压为 $3.3V$)。

$$R = \frac{R_{32} \times (R_{33} + R_{DS(on)})}{R_{32} + R_{33} + R_{DS(on)}}$$

or

$$R = \frac{6800 \times (0.1 + 0.045)}{(6800 + 0.1 + 0.045)} = 0.145 \Omega \tag{1}$$

如果 PRE_ALT_MAX_EVENT_COUNT 设置为 0，则在下一次数据转换时重新触发高阈值 ALERT，但如果器件已处于高电流范围内，则主机 MCU 的 TIDA-01546 固件将忽略该警报。

反之亦然，当电流回落到低电流范围时，ALERT 引脚由低阈值设置，MCU 读出设置警报的阈值并关闭 FemtoFET 器件，从而使系统回到初始状态。

2.4.2.2 LPV521 增益计算

TIDA-01546 参考设计中的电阻器 R25 和 R28 用于设置 LPV521 器件的增益值：

$$G = \frac{R_{28} + R_{25}}{R_{28}} = \frac{47 \text{ k}\Omega + 2200 \text{ k}\Omega}{47 \text{ k}\Omega} = \frac{2247}{47} = 47.81 \tag{2}$$

ADS7142 器件的 AVDD 电压定义了器件的满量程输入范围，对于 TIDA-01546 设计，该电压设置为 $3.3V$ ，这是最大输入电压。在采用该电压设置并知道增益 G 的情况下，可以通过以下公式来计算 LPV521 器件输入电压的最大 V_{IN} 值：

$$\text{MAX } V_{\text{IN}} = \frac{\text{MAX } V_{\text{OUT}}}{G} = \frac{\text{MAX } V_{\text{input to ADS7142}}}{G} = \frac{3.3 \text{ V}}{47.81} = 69 \text{ mV} \quad (3)$$

69mV 表示无论使用的电流范围如何都可以施加到 LPV521 器件输入端的满量程电压。

对于这两个电流范围，最大电流值为以下值之一：

1. $69\text{mV}/R_{32} = 6800 \Omega =$
2. **10.47 μA** (对于低电流范围)
3. $69\text{mV}/0.145 \Omega =$ **475.86mA** (对于高电流范围)

下面枚举了最小电流值，因为有 4096 个 ADC 阶跃：

1. $10.47\mu\text{A}/4096 = 2.55\text{nA}$
2. $475.86\text{mA}/4096 = 116\mu\text{A}$

LPV521 和 ADS7142 器件以最低功耗持续监测系统电流，因为这两个器件在由 3.3V 电源供电时消耗的电流大约为 1 μA 。

2.4.2.3 使用 TINA-TI 进行电流范围仿真

图 2-6 展示了电流流经 0.1 Ω 电阻时的 TINA-TI 仿真结果。当向系统注入 493mA 电流时，运算放大器的输入电压为 69.03mV (略高于计算得出的 69mV)。得到的输出电压为 3.29V，接近于节 2.4.2.2 中的计算结果和 3.3V 满量程电压。

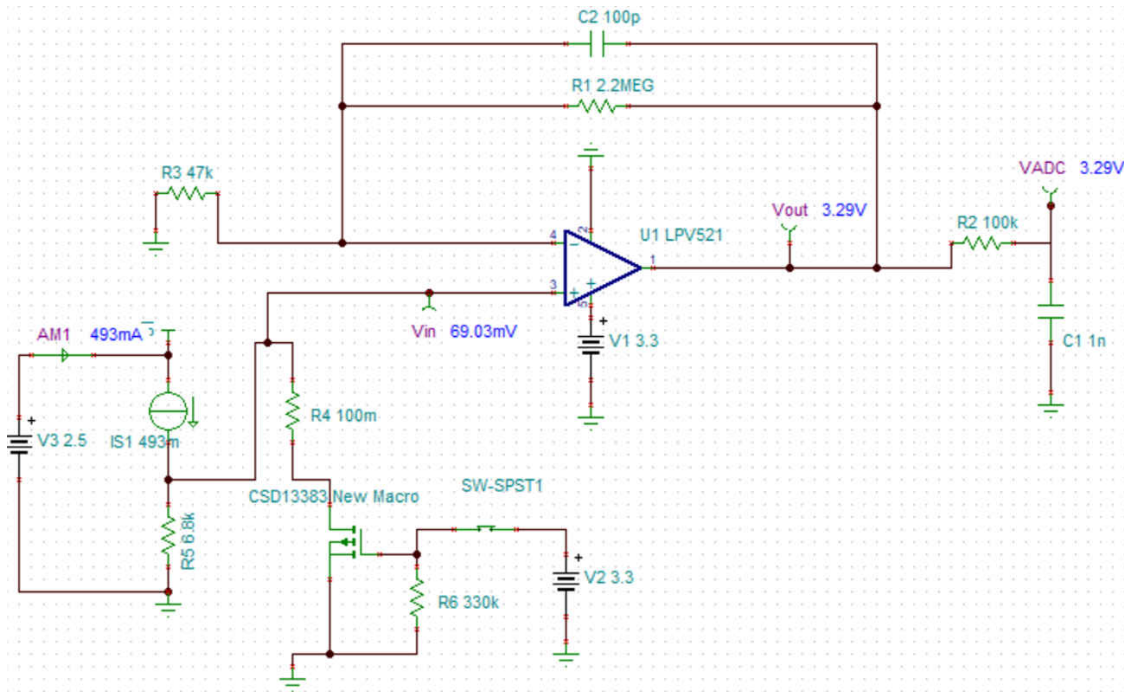


图 2-6. 使用 0.1 Ω 电阻器值的大电流范围 TINA-TI 仿真

图 2-7 展示了流经 $6.8\text{k}\Omega$ 电阻器的电流仿真。当 $10\mu\text{A}$ 电流流入系统时，LPV521 器件的输入电压为 67.99mV （略低于 69mV 最大值）。

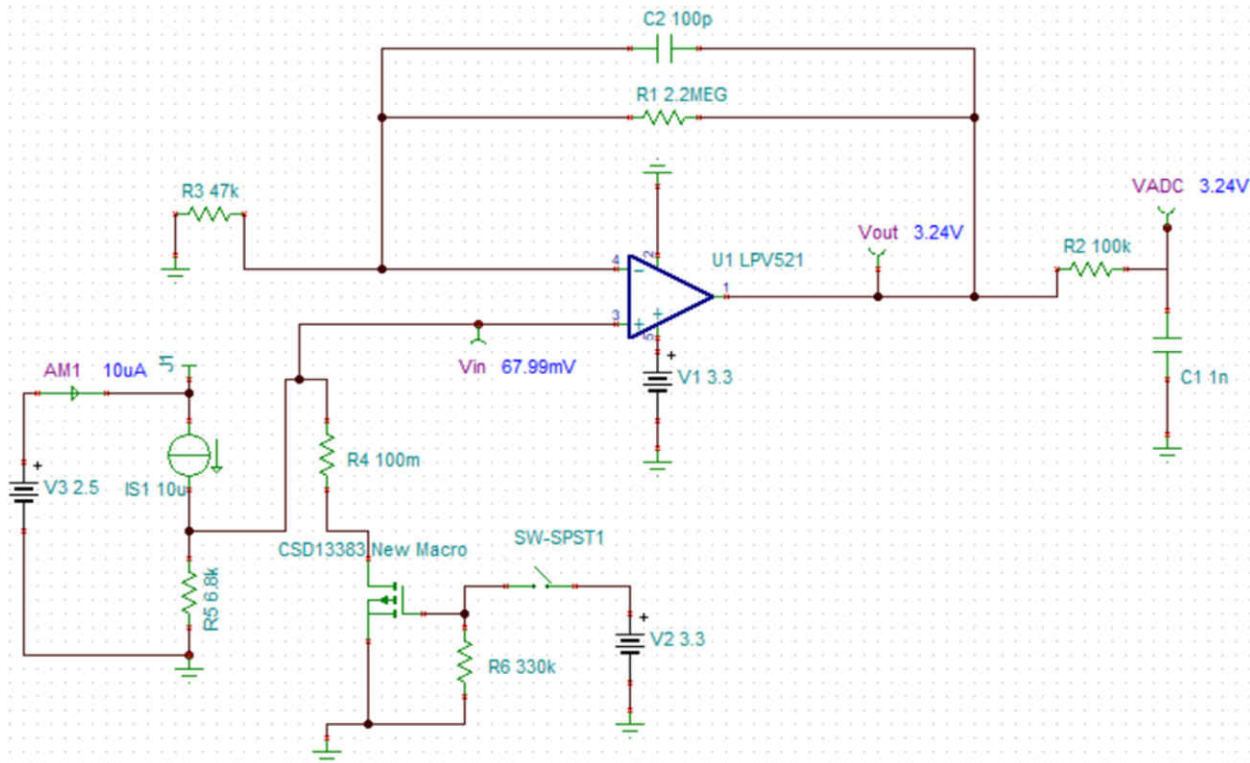


图 2-7. 使用 $6.8\text{k}\Omega$ 电阻器值的小电流范围 TINA-TI 仿真

仿真输出电压为 3.24V ，也略低于最大允许电压 3.3V ，这与计算结果一致。

使用该参考设计中包含的 TINA-TI 仿真文件，设计人员可以计算其应用所需的电阻器值。

2.4.2.4 TIDA-01546 固件中的主要 ADS7142 寄存器设置

TIDA-01546 软件在假设负载分布为方波的情况下实现了系统监控和电池电量计功能的逻辑。该方波在高于 ADS7142 的窗口比较器高阈值和低于窗口比较器低阈值之间交替变化，用户可以对这两个阈值进行编程。

ADS7142 器件中只有一组高阈值和低阈值寄存器，这意味着用户定义的阈值代表不同的电流值，具体取决于哪个电流范围（或电阻器）处于活动状态。换言之，ADS7142 阈值设置用于检测负载分布的上升沿和下降沿，并分别打开和关闭 0.1Ω 电阻器。

使用节 2.4.2.2 列表中的 $10.47\mu\text{A}$ 和 475.86mA ，根据需要进行计算电流阈值并对其进行编程。ADS7142 器件在 3.3V 时的转换输出等于 0xFFF （这是一个 12 位 SAR ADC）。高低阈值的默认固件设置分别为 0x998 和 0x028 ，分别对应于以下值：

- $0\text{x998}/0\text{xFFF} = 2456/4096 = 0.5996 = \mathbf{0.6}$ （对于低电流范围）
- $0\text{x028}/0\text{xFFF} = 40/4096 = 0.00976 = \mathbf{0.01}$ （对于高电流范围）

表 2-1 展示了这些阈值到电流值的转换。

表 2-1. 固件中两个电流范围的阈值设置

负载配置文件	阈值 (ADS 寄存器值)	阈值电流 (A)	使用的分流电阻 (Ω)
低至高转换	HTRH = 0x998	$0.6 \times 10.47\mu\text{A} = 6.28\mu\text{A}$	6800
高至低转换	LTHR = 0x028	$0.01 \times 476\text{mA} = 4.76\text{mA}$	0.1 + 0.045

电路板的待机电流必须低于 $6.28\mu\text{A}$ ，有功电流必须保持在 4.76mA 以上，最高为 476mA ；否则会导致 0.1Ω 电阻器不必要地打开和关闭。通过更改 ADS7142 器件的高阈值和低阈值寄存器中的值，可修改这些设置。

备注

在从低电流范围切换到高电流范围以及进行相反切换时具有不对称的电流阈值，因此应仔细选择高阈值和低阈值（包括可选的 ADS7142 窗口比较器迟滞设置），从而避免错误地从一個电流范围更改为另一个电流范围。

2.4.2.4.1 ADS7142 采样率

为了尽可能降低功耗，对 ADS7142 毫微功耗传感器监控器进行了编程，使其通过低功耗振荡器运行，其中 $n\text{CLK} = 18$ ，这是 $n\text{CLK_SEL}$ 寄存器中设置的最小建议值。根据 [ADS7142 毫微功耗、双通道、可编程传感器监控器数据表](#)，这会使转换时间为 $18 \times 95.2\mu\text{s}$ 或 $18 \times 300\mu\text{s}$ ，或大约处于 1.7 至 5.4ms 的范围内。因此，最低采样率不是一个固定值，在评估应用中数据读取的负载分布和固件时序时必须考虑这一点。

通知后数据模式是自主模式之一，可通过 OPMODE_SEL 寄存器设置 $0x110b$ 进行选择。这会指示器件在通知激活后捕获接下来的十六个转换结果。在内部数据缓冲区中存储这十六次转换之后，所有转换都会停止并且主机 MCU 可以读出这些值。

2.4.3 u-blox 的 NB-IoT 模块

SARA-N211 是 u-blox 的低功耗 NB-IoT (LTE Cat NB1) 模块，经认证可在全球多个移动网络中运行，包括 Deutsche Telekom 的移动网络。

工作温度为 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电源电压范围介于 3.1V 和 4.0V 之间（正常情况）。深度睡眠模式下的电流为 $3\mu\text{A}$ （ 10s 以上时间内的平均值），而在传输模式下，在 $+23\text{dBm}$ TX 功率下消耗的电流为 220mA 。

2.4.4 Quectel 的 NB-IoT 模块

BC95-B8 NB-IoT 模块是一款具有超低功耗的紧凑型 NB-IoT 模块，已通过多种网络认证（包括 Deutsche Telekom 的网络）。该模块的工作温度为 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电源电压范围应介于 3.1V 和 4.2V 之间（典型值为 3.6V ）。

在 PSM 下，深度睡眠模式下的电流为 $3.6\mu\text{A}$ ，在 $+23\text{dBm}$ 传输功率下消耗的电流为 220mA （在频带 B8、B5 和 B20 中运行时）。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 所需硬件

TIDA-010053 参考设计在工作台上经过了效率和负载响应测试。

3.1.1 测试 TIDA-010053

分别对两个不同的电源解决方案进行了测试，以确认设计的性能符合数据表中的值。

3.1.2 TPS62840 子系统

在以下条件下测试了 TIDA-10053 参考设计上 TPS62840 降压器件的瞬态负载响应：

- $V_{IN} = 5.0\text{ V}$; $V_{OUT} = 3.3\text{ V}$
- $I_{o_min} = 0\text{ A}$; $I_{o_max} = 250\text{ mA}$
- 周期 = 2s ; 占空比 = 50%
- $SR = 0.8\text{ A/ns}$

零点 A 模拟深度睡眠模式下通常小于 $5\mu\text{A}$ 的电流，而 250 mA 来自 220 mA (u-blox 和 Quectel NB-IoT 模块 +23dBm TX 功率级别下的典型电流) + 最大电流下的 25 mA 裕度 + 应用其余部分 (主机 MCU + 计量 + 智能仪表的所有其他子系统) 的 5 mA 。

图 3-1 展示了 2 秒脉冲 (输出电压设置为 3.3 V_{out}) 的瞬态负载测试结果，输出电压在 $V_{o_min} = 3.2987\text{ V}$ 和 $V_{o_max} = 3.3373\text{ V}$ 之间调节。

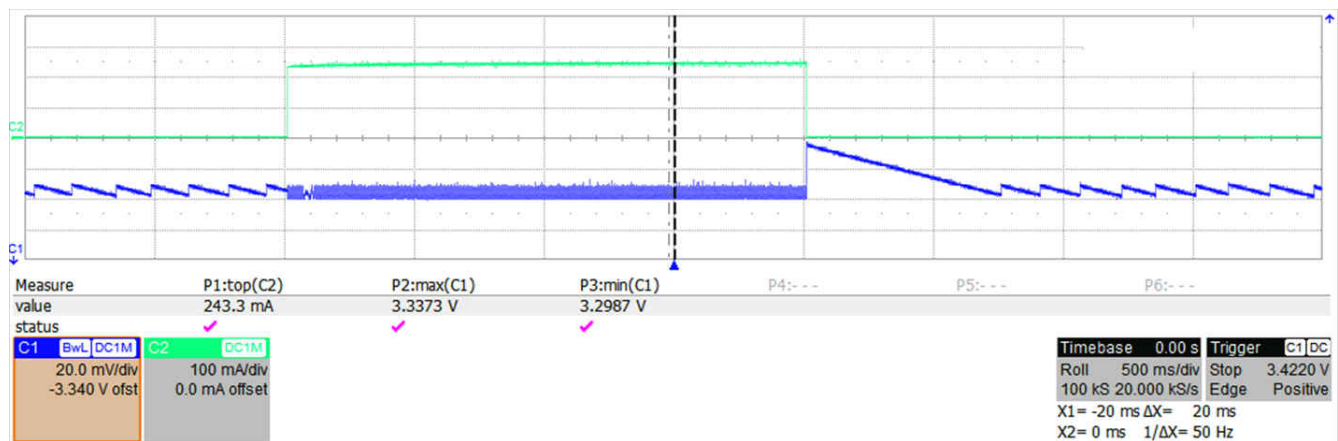


图 3-1. TPS62840 0 至 250mA 阶跃的瞬态负载响应

通过使器件在开关频率 $F_{sw} = \text{约 } 1.8\text{ MHz}$ 的 PWM 模式下运行来确认效率。

P_{IN}	P_{output}	效率 (%)
$4.950\text{ V} \times 0.522\text{ A} = 2.58\text{ W}$	$3.301\text{ V} \times 0.7094\text{ A} = 2.34\text{ W}$	90.63

3.1.3 TPS610995 子系统

在 TIDA-10053 上使用了 V_{OUT} 固定为 3.6V 的 TPS610995 来运行基准测试以测量瞬态负载响应。对于该测试，适用以下测试条件：

- $V_{IN} = 1.8 - 3.2V$
- 固定 $V_{OUT} = 3.6V$; $I_{o_max} = 500mA$

以下效率表展示了 $I_{OUT} = 250mA$ 、 $V_{IN} = 2.5V$ 时的结果，这是 LiMnO2 电池在其寿命周期内的平均值。

$V_{IN}=2.5V$	$V_{OUT} = 3.6 V$	250mA 下的效率 (%)
393.7 mA	251 mA	91.81

图 3-2 展示了负载电流 I_{out} 的完整效率图。

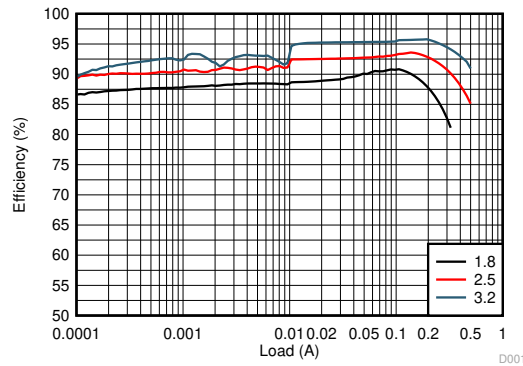


图 3-2. 效率图与负载电流之间的关系

图 3-3 展示了 50mA 至 200mA I_{OUT} 的负载瞬态图。

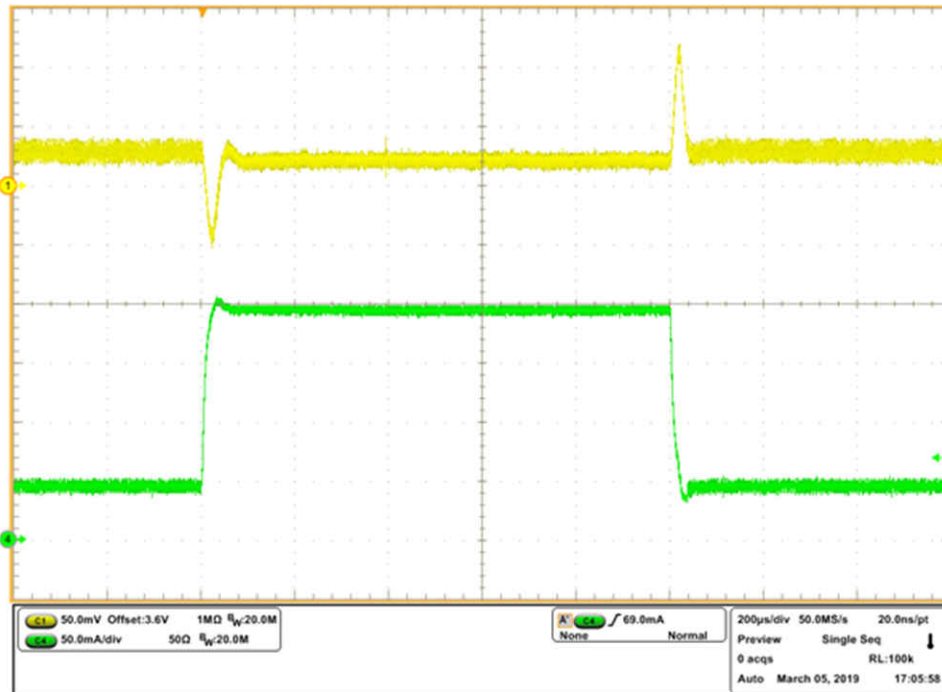


图 3-3. TPS610995 负载瞬态响应

图 3-4 展示了 $V_{OUT} = 3.6V$ 、 $V_{IN} = 3.2V$ 时的纹波。

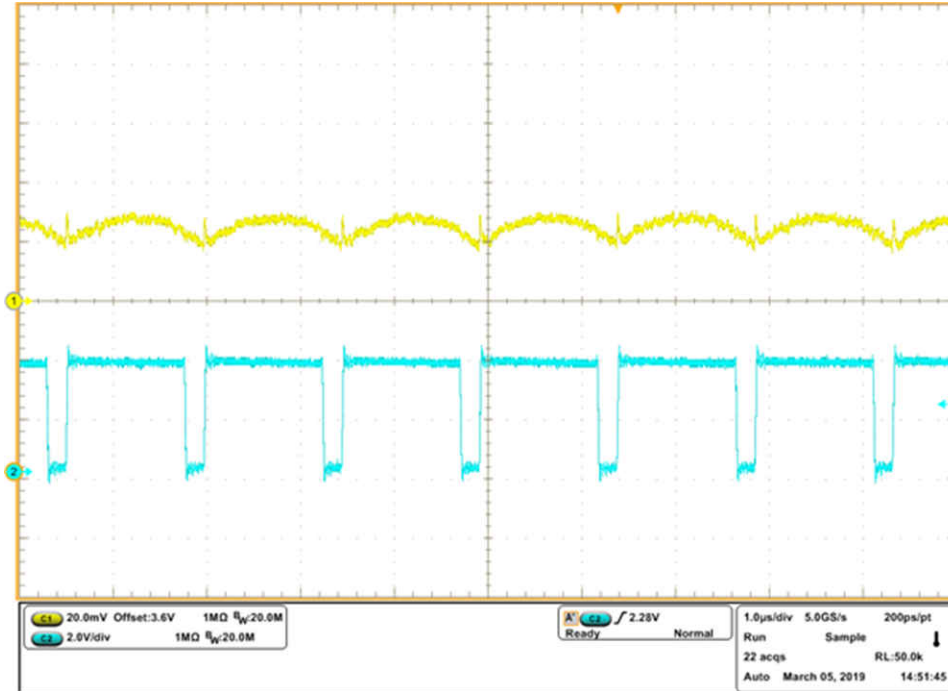


图 3-4. TPS610995 $V_{OUT} = 3.6V$ 、 $I_{OUT} = 200mA$

3.1.4 软件

可以结合使用 TIDA-010053 和 TIDA-01546 设计，以实现定期 SOH 测量和连续系统运行状况监控。更新的 TIDA-01546 软件被编程到 T4MC MCU 中，如 [电池供电型智能流量计的电池和系统运行状况监控参考设计指南](#) 的对 TIDA-01546 进行重新编程部分中所述。

该软件支持将数据记录到 microSD 卡中，并且在 TM4C 主机 MCU 的源代码中添加了一个 UART 通信端口。因此，可以将日志数据发送到 PC 的 COM 端口以及运行 HTerm 等终端程序。

TIDA-01546 设计的软件已更新为最新的 Tiva_C MCU 库，名为 TivaWare_C_Series-2.1.4.178 和 CCS version 9.0.1 (截至 2019 年 6 月的最新版本)。

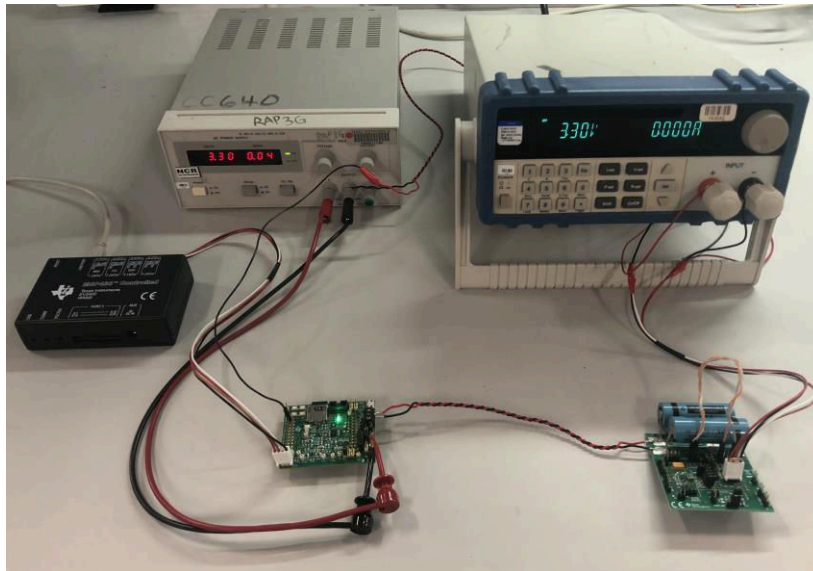
3.2 测试和结果

在工作台上针对 TIDA-010053 参考设计中使用的两个电源转换器估算和测量了原电池配置的放电。

3.2.1 测试设置

我们采用两种不同的测试设置来获取三款电源器件的数据。TPS62840 和 TPS610995 均集成到 TIDA-010053 板中，而另一种测试设置是使用 TPS63900EVM 完成的。

对于 TPS610995 和 TPS62840 设置，将两节串联或一节单独的 FDK 电池 (请参阅 [FDK CR17500EP 数据表](#)) 焊接到 TIDA-010053 设计上并按照图 3-5 所示用导线连接到 TIDA-01546 电池监测系统。然后，使用 BQ Studio GUI 软件对 BQ35100 原电池电量计进行配置和校准。



该图展示了用于两节电池降压配置的实验室设置。除了电池数量和接头位置外，单节电池升压配置几乎相同。

图 3-5. 采用 TIDA-01546 的 TPS62840 和 TPS610995 设置

对于 TPS63900 设置，将一节 FDK 电池焊接到 TPS63900EVM 的输入端子上并用导线将其连接到 TIDA-01546 电池监测系统，如图 3-6 所示。电池电量计的校准方式与之前的设置相同。请注意，TPS63900 EVM 是显示在右侧的板。

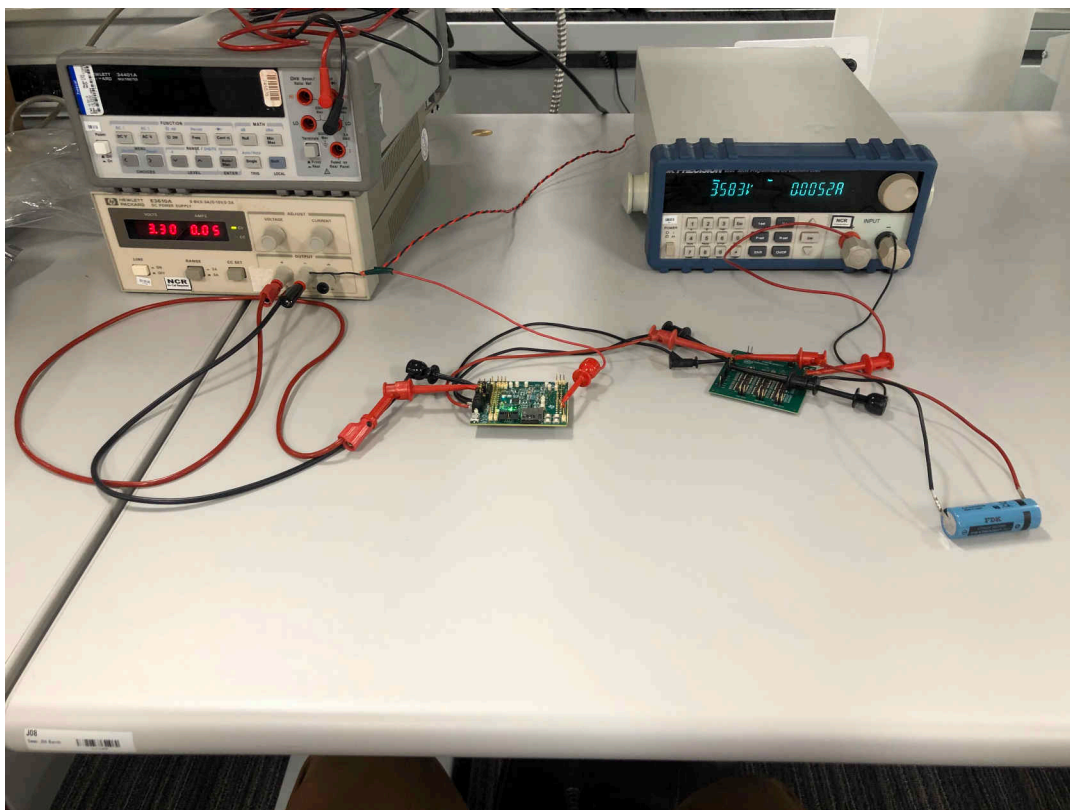


图 3-6. 采用 TIDA-01546 的 TPS63900 设置

图 3-7 展示了实验室工作台器件配置。

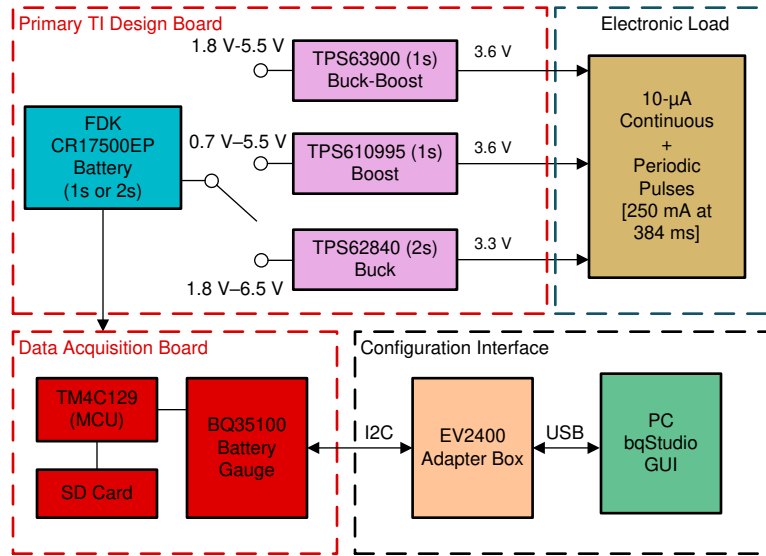


图 3-7. 测试设置方框图

图 3-7 展示了要测试的电子负载的负载分布。

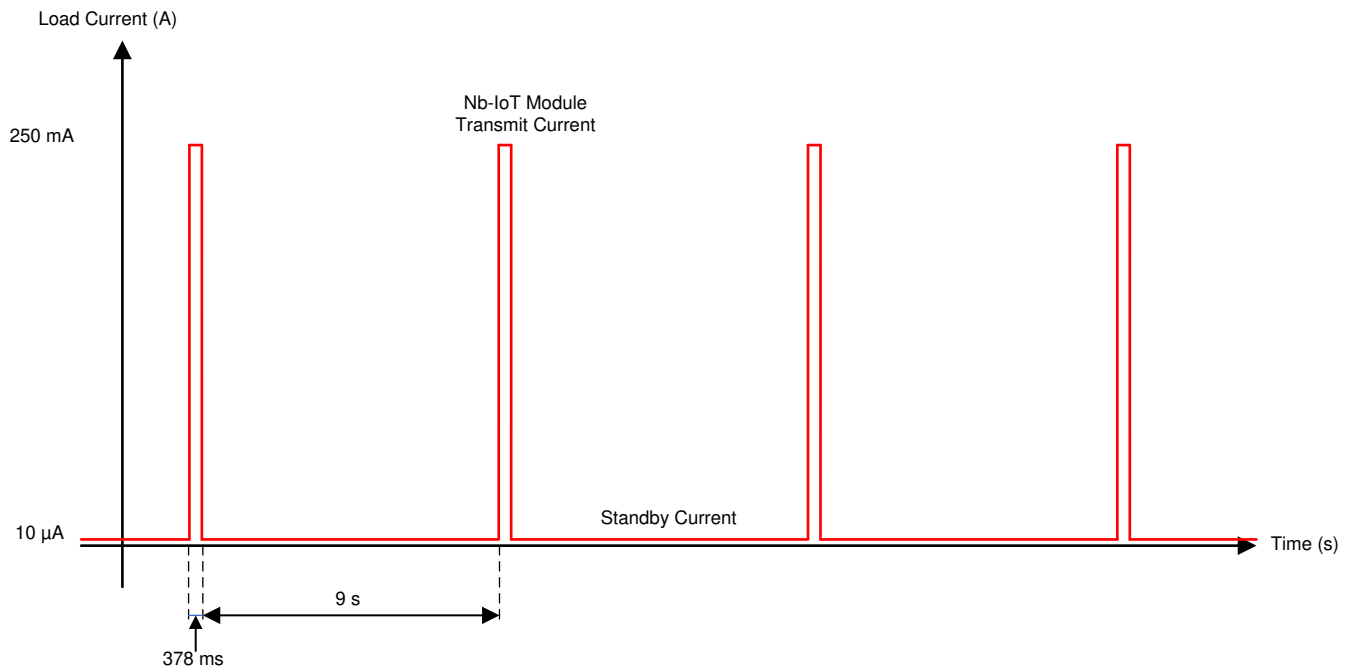


图 3-8. 用于估算 Nb-IoT 模块电流消耗的用户负载分布

为了模拟 NB-IoT 模块射频传输的电池放电曲线并加快测试速度，选择了以下电子负载分布：

- 传输射频：250mA，持续 384ms（1 个脉冲 × 30s 或 1 个脉冲 × 10s）
- 计量模式：10μA 持续基础负载

除了用于传输仿真的电子负载外，还通过负载电阻器来表示计量模式，这些电阻器连接到降压、降压/升压和升压解决方案的 V_{OUT} 。TPS 器件电流 I_{OUT} 的测量结果为 10μA，即在许多应用中待机时消耗的平均电流 5 至 6μA 加上 NB-IoT 模块节能模式下的 4μA，请参阅节 2.4.3。

借助 TIDA-01546，可通过 J18 I2C 连接器对板载 BQ35100 器件进行配置，然后使用 EV2400 和安装了 BQ Studio GUI 软件的 PC 对其进行编程。将 ChemID = 0x635 加载到用于 FDK CR17500EP 电池的器件中，并选择

2 芯或 1 芯电池配置。此外，根据待测器件，在 TIDA-01546 板上将跳线 J1 和 J2 设置为 2 芯或 1 芯配置。将数字温度计和数字万用表作为参考，校准 21°C 的环境温度和失调电压。此外，除电源管理器件之外，还通过外部 3.3V 电源为所有使用的器件供电。这样做是为了隔离 NB-IoT 电子负载分布和电源转换器的功耗。

对 TIDA-01546 上的 MCU 进行编程后，可通过 GPIO 触发电子负载，以 384ms 的持续时间发出 250mA 的脉冲。在下一个电子负载脉冲之前捕获 SOH 和电压数据点，从而确保最准确地反映电压和 SOH 并尽可能延长可用的电池弛豫时间。此外，MCU 会在每个周期发出一个新的电池命令，以便允许捕获的 SOH 随着时间的推移而增加。这样做是为了在每个周期捕获原始数据；然而，在实践中，只会在测试开始时发出新的电池命令，从而防止 SOH 读数增加。这种自动电池放电和数据收集设置贯穿了原电池的整个寿命周期。

3.2.2 测试结果

3.2.2.1 使用 TPS62840 降压转换器的测试结果

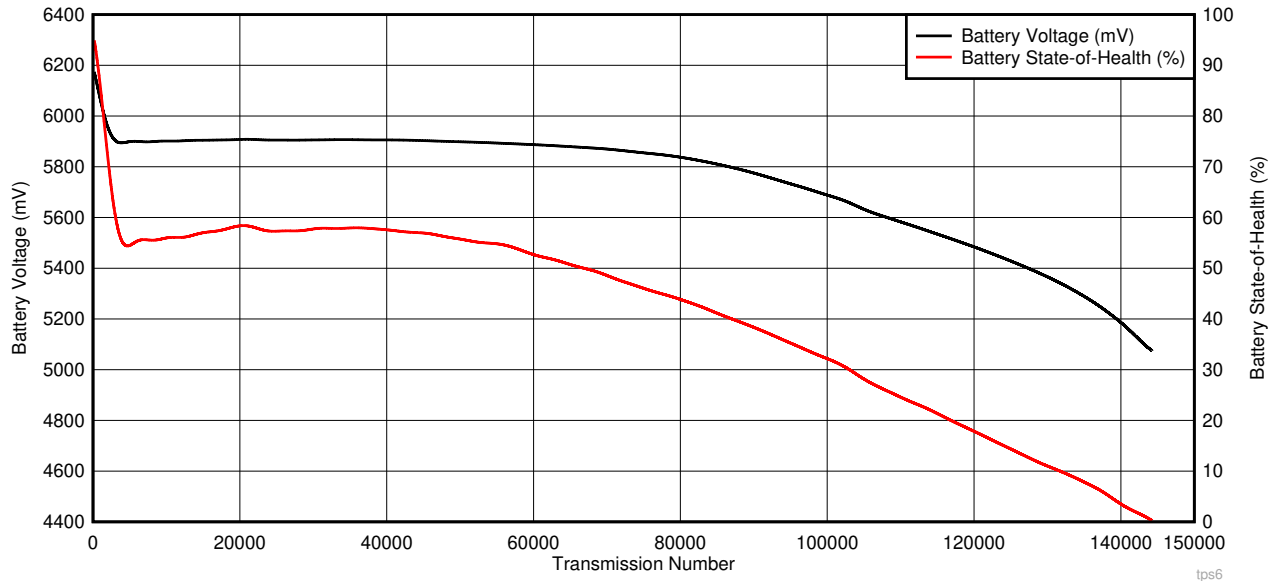


图 3-9. TPS62840 降压电池放电数据 (2s 配置)

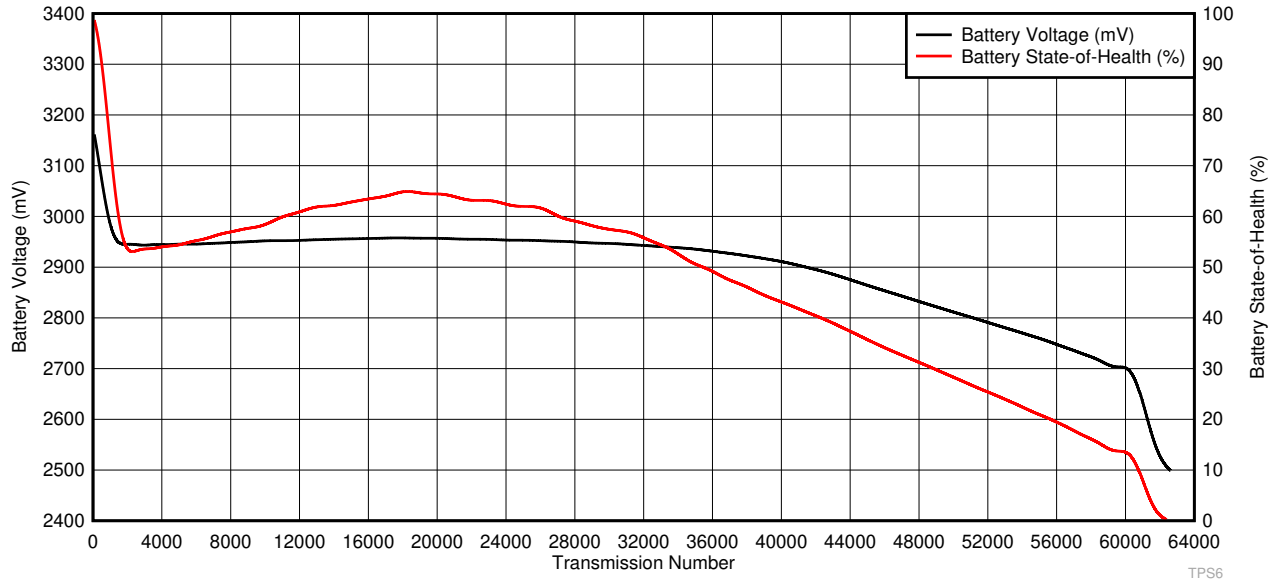
在该图和所有后续传输图中，假设电池的工作范围为 100% SOH 至 10% SOH。将使用 10% SOH 来比较三种不同的电源拓扑。图 3-9 显示，在使用 TPS62840 降压转换器为 NB-IoT 模块供电时，电池可以承受大约 135,000 次传输（在 10% SOH 下测得）。务必承认该测试是在很短的时间内进行的，在现场，除了 250mA 脉冲之外，待机电流也是一个影响因素。节 3.2.2.4 中将考虑该因素，其中针对不同拓扑进行了实际电池寿命估算。

LiMnO2 电池化学成分能够非常有效地保持其电压，并且在其寿命周期的前半部分会部分增加，因此该电池电量计将返回一个围绕 SOH 的更粗略的测量值。不过，在 70,000 次传输的中点附近，SOH 接近 50% 并最终持续下降至 0%。请参阅 FDK CR17500EP LiMnO2 原电池数据表以观察典型的电压放电曲线。

务必注意 TPS62840 降压转换器在 10 μ A（该测试中的待机电流）时的市场领先轻负载效率（请参阅 TPS62840 1.8V 至 6.5V、750mA、60nA I_Q 降压转换器数据表中的效率与负载电流之间的关系图）。对于 $V_{IN} = 6.5V$ 至 $V_{IN} = 4.2V$ （表示两节串联电池已充满电和几乎完全放电）， $V_{OUT} = 1.8V$ 时的效率处于 82 - 88% 的范围内。

在该测试中，TPS62840 器件在 $V_{OUT} = 3.3V$ 下运行，为 NB-IoT 模块供电。 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间的电压电平差较小，因此该器件将提供比数据表中的数据高几个百分点的效率。

3.2.2.2 使用 TPS610995 升压转换器的测试结果



大约 60,000 次传输时的电压和 SOH 曲线的波动是测试设置受到干扰的结果，为电池提供弛豫时间，这可以通过电压上升看出。

图 3-10. TPS610995 升压电池放电图 (1 节电池配置)

图 3-10 突出显示了如何通过将该电源解决方案用于 NB-IoT 模块来支持 61,000 次传输 (在 10% SOH 下测得)。与降压转换器放电数据类似，除 250mA 脉冲之外，待机电流也将在现场应用中发挥额外的作用。有关该拓扑电池寿命估算的分析，请参阅 3.2.2.4。

如节 3.2.2.1 所述，电池电压开始更有意义地下降后，BQ35100 器件将具有卓越性能。这可以在中点附近 (35,000 次传输) 观察到，其中 SOH 等于 50%，然后 SOH 读数大致呈线性并趋向于 0% SOH。请参阅 FDK 锂 CR17500EP LiMnO2 原电池数据表以观察典型的电压放电曲线。

在该测试中，TPS610995 器件在 $V_{OUT} = 3.6V$ 下运行，为 NB-IoT 模块供电。 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间的电压电平差较小，因此该器件将提供比数据表中的数据高几个百分点的效率。

3.2.2.3 使用 TPS63900 降压/升压转换器 NB 的测试结果

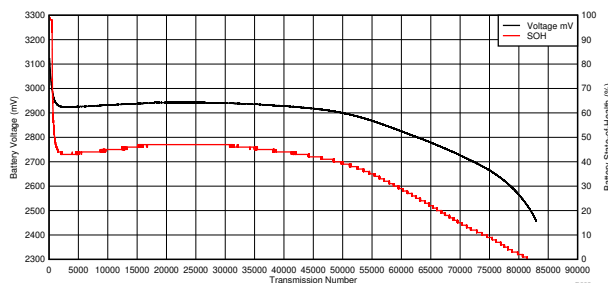


图 3-11. TPS63900 降压/升压电池放电图 (1s1p 配置)

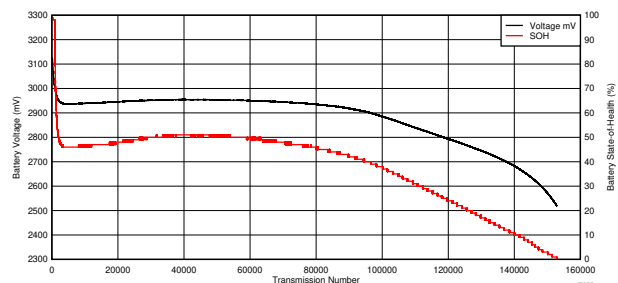


图 3-12. TPS63900 降压/升压电池放电图 (1s2p 配置)

图 3-11 和图 3-12 表明，在使用该电源解决方案时，对于仿真的 NB-IoT 负载分布，系统针对 1s1p 支持大约 75,000 个传输周期，针对 1s2p 支持 141,000 个传输周期 (在 100% 至 10% SOH 下测得)。使用 TPS63900 降压/升压转换器的优势不仅在于该转换器具有低静态电流消耗 (典型值为 75nA)，而且还在于该转换器在轻负载时具有高效率，从而最大限度地减小非传输期间的功率损耗。所有这些都使产品寿命延长。

TPS63900 的另一个使其可用于 NB-IoT 应用的功能是动态电压调节。该器件可以使用两个外部电阻分压器并通过控制选择引脚来提供两个输出电压电平。该功能可用于在 NB-IoT 传输周期内提供更高的电压，并且可以在正常操作期间在没有传输发生时进行切换以提供更低的电压。该功能可用于进一步扩展上述的传输周期数。

3.2.2.4 总结

采用原电池电量计和系统运行状况监测器件的电源转换器在轻负载下具有很高的效率，可提供独特的功能：在支持 NB-IoT 的应用中精确测量 LiMnO₂ 原电池的运行状况 (SOH) 并随时通过蜂窝网络报告该信息。系统运行状况监视器可以检测到高电流传输脉冲并在进行 SOH 测量之前触发延时时间。SOH 测量只需要 1 秒，而且运行频率很低，例如几天或几周一次；大多数情况下，BQ35100 电池电量计处于关断模式，消耗的电流为 50nA (典型值)。

这种用于物联网相关应用的系统内实时 SOH 超低功耗测量功能支持按需电池更换，从而降低整体系统成本。设计人员现在可以获取每个单元的准确 SOH 信息，并仅在必要时安排电池服务，而不是过度设计电池容量或仅在预定义的单元寿命结束后更换所有电池。NB-IoT 无线网络电源设置对于支持物联网的器件而言是失控的，此外，不断变化的无线环境是不可预测的，因此不同的单元将经历不同的放电率。最准确和最具成本效益的解决方案是在系统内测量每个现场部署单元的电池放电，并在电池达到临界容量水平时采取措施。

4 设计文件

4.1 原理图

若要下载原理图，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

4.2 物料清单

若要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

PCB 布局是按照针对每个 TPS 控制器器件的建议进行的，并使用每个器件的 EVM 作为设计参考。基本上，两个 EVM 组合成单个 PCB，并添加了一个用于容纳两个 AA 型号电池的电池区域。必须对原电池进行焊接以获得卓越性能，因此使用了带引线的 FDK 电池。

4.3.1 布局图

若要下载层图，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

4.4 Altium 工程

若要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

4.5 光绘文件

若要下载光绘文件，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

4.6 装配图

若要下载装配图，请参阅 [TIDA-010053](#) 中的设计文件。

5 软件文件

没有适用于 [TIDA-010053](#) 的软件文件；使用 J7 引脚 5 (UART_TX) 和引脚 7 (UART_RX) 上的 UART 通信端口对 [TIDA-01546](#) 设计的软件进行更新。

6 相关文档

1. [FDK CR17500EP 数据表](#)
2. [SARA-N211 数据表](#)
3. [BC95-B8 数据表](#)
4. [u-blox 的 NB-IoT 应用开发指南](#)
5. 德州仪器 (TI)，[Battery Management Studio \(bqStudio\) 软件](#)
6. 德州仪器 (TI)，[BQ35100 评估模块](#)

6.1 商标

E2E™, DCS-Control™, and FemtoFET™ are trademarks of Texas Instruments.

microSD™ is a trademark of SD Association.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

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

所有商标均为其各自所有者的财产。

7 术语

NB-IoT - 由 3GPP 开发的窄带物联网无线电技术，可利用低功耗广域网 (LPWAN) 在更广泛的区域长时间传输少量数据。

8 关于作者

MILEN STEFANOV (M.Sc.E.E) 是 TI 的系统工程师，其工作领域为电网基础设施，此外他还是射频通信技术和计量应用方面的专家。毕业后，他在开姆尼茨工业大学 (TUC) 担任了 5 年的研究助理，之后的三年半，他在半导体行业担任高速光和有线通信系统工程师。他于 2003 年加入 TI，成为一名 Wi-Fi® 专家，并为用于主要 OEM 的 TI Wi-Fi 产品提供支持。自 2010 年以来，他一直致力于开发面向欧洲电网基础设施市场的计量和 Sub-1GHz 射频解

决方案。Stefanov 先生在欧洲发表了多篇关于 wM-Bus 技术的文章，并在于慕尼黑举行的无线大会与智能家居和计量峰会上提交了技术论文。

SHUANG FENG 是中国的现场应用工程师，曾获得西安电子科技大学的电路与系统设计硕士学位。在开发该参考设计期间，他为 Milen 提供了大力支持。

GRANT GRIFFIN 是密歇根州的一名模拟现场应用工程师，曾获得密歇根州立大学电气工程学士学位。除 Shuang Feng 之外，他也为此参考设计的开发提供了大力支持。

9 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

Changes from Revision B (August 2020) to Revision C (March 2021) Page

- 添加了 TPS63900 的 1s1p 和 2s2p 电池配置测试数据..... 20

Changes from Revision A (March 2020) to Revision B (August 2020) Page

- 更新了文档标题。..... 1
- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。..... 1
- 更改了“说明”部分以添加 TPS63900 拓扑。..... 1
- 更改了“特性”部分以添加 TPS63900 拓扑。..... 1
- 更新了方框图。..... 1
- 更新了表 1-1 以添加 TPS63900 器件的规格..... 3
- 更改了图 2-1 4
- 更新了“设计注意事项”以包含 TPS63900 拓扑..... 4
- 在“主要产品”之下添加了“具有 200nA 超低静态电流和 400mA 输出电流、输入电压为 1.8V - 5.5V 的降压/升压转换器”部分..... 5
- 在“测试结果”(3.2.2)中添加了标题为“使用 TPS63900 降压/升压转换器的测试结果”的部分..... 5
- 更新了“测试设置”部分以添加 TPS63900 测试设置并添加了演示使用 TPS63900 板时的设置的图..... 16
- 更新了图 3-7. “测试设置方框图” 16

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司