

TI 设计: TIDA-00998

适用于高架故障指示灯的能量收集和故障指示灯子系统参考设计



说明

高架传输线上使用故障指示灯来监控电源线。它们的主要任务是检测故障状况并使用 LED 进行指示。

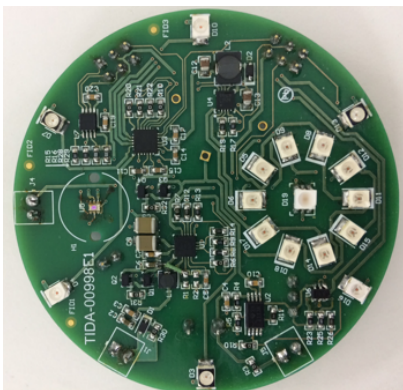
故障指示灯的一个主要挑战就是管理能量存储和消耗,以便在线路出现故障时可以长时间持续工作并快速启动终端设备。本 TI 设计展示了多个架构,这些架构可利用从电流互感器 (CT) 或太阳能电池收集能量的二次电池或超级电容器来延长一次电池寿命。利用高效的 LED 驱动器来驱动串联或并联的 LED,以控制光亮强度,实现 360° 的一致可见性,从而完成最佳电源管理。

资源

TIDA-00998	设计文件夹
bq25505	产品文件夹
LP55231	产品文件夹
LM3509	产品文件夹
OPT3001	产品文件夹
TPS2113A	产品文件夹
PCA9306	产品文件夹
TPS61021	产品文件夹
TIDA-00807	工具文件夹



咨询我们的 E2E 专家

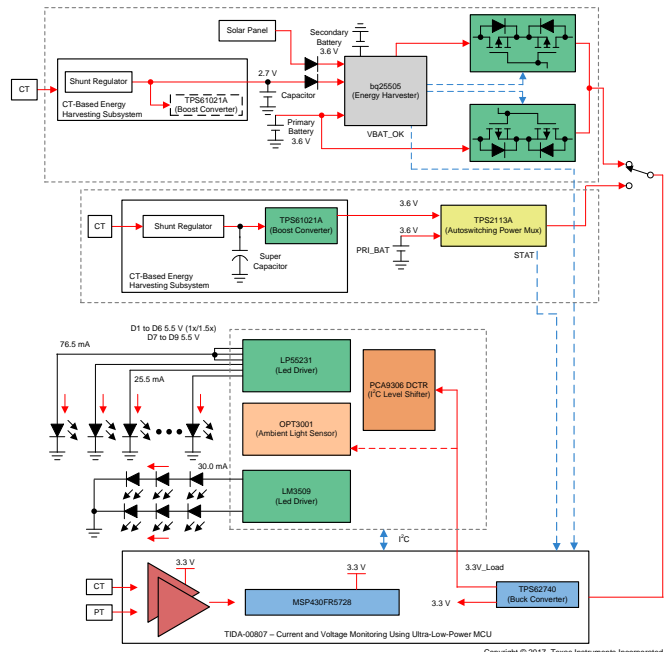


特性

- 能量收集和电源管理:
 - 收集太阳能以对锂离子电池充电;可在主储能元件(非可再充电)和备用储能元件(可再充电)之间自动切换来为 LED 驱动器和 TIDA-00807 供电
 - 与用于负载电流收集的基于 CT 的能量收集子系统相连接以对超级电容器充电;使用电源多路复用器在超级电容器和一次电池之间自动切换
- HMI - 高强度 LED:
 - 利用 LP55231 驱动最多六个独立的 LED 和三个用于驱动高电流 LED 的并联通道
 - 利用 LM3509 驱动串联的 LED
 - 根据 OPT3001 感应的环境光线强度进行三级 LED 强度控制
 - 光传感器和 LED 驱动器使用 I²C 连接(可连接到 TIDA-00807 的 J2)

应用

- 高架故障指示灯
- 高架故障通道指示灯





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

故障指示灯是终端设备，安装在传输线路上后，可指示故障电流的通道。安装故障指示灯可标识发生故障的电缆部分，从而减少运营成本和服务中断。同时，故障指示灯可降低对危险故障跟踪程序的需要，从而提高安全性并减少设备损坏。为了提供最大利益，故障指示灯必须能够在故障电流通过其安装处的电缆时提供可靠指示。故障指示灯误用或选用不当可能会降低可靠性。故障指示灯必须能够适应电网特性，并且必须保持可见，以便维护团队可以快速检测到发生故障的网络部分。

系统从故障中恢复后，故障指示灯使用负载电流或电压从故障状态复位到正常状态。有些特性对于提高运行的可靠性来说是必需的，例如可通过忽略系统上保护设备的重合闸操作导致的浪涌电流来消除误跳闸。

用于为高架故障指示灯供电的各种电源包括：

- 一次电池 — 高架故障指示灯 (OHFI) 通常使用非可再充电的（主）大容量（15 至 20Ah）电池。使用具有较长保质期（大于 10 年）的锂或锂离子电池以提高 OHFI 的工作寿命。一次电池的寿命结束时，故障指示灯利用额外的 LED（或通过某种其他方式）指示，以使用户更换电池以实现连续操作。
- 负载电流 — 这些故障指示灯使用部分负载电流自动复位并保持对故障做出响应所需的能量。除了从负载电流中收集的能量外，它还有一个超级电容器或小型一次电池，用于在故障状况期间为故障指示灯供电。
- 太阳能电池板 — 从太阳能电池板（安装于 OHFI）收集的能量用于为系统供电。它通常使用一个额外的小型一次电池作为备份。

故障指示灯其中一个用途是供人们能够从很远的距离（大于 50m）查看故障状态。故障指示灯通过各种方式在高架线路中发生故障的部分提供视觉或远程故障指示。这些指示灯包括：

- LED — OHFI 使用单个或多个 LED 来指示故障。它们通常使用红色和/或琥珀色来指示永久性或暂时性故障。故障指示应在所有方向具有一致的可见性（360° 可见）。控制 LED 的强度还将提高日间的可见度并可降低低亮度环境条件下的功耗。

1.1 主要系统规格

OHFI 的主要参数包括闪烁小时数和电源。主要挑战是通过使用低安时 (Ah) 电池延长终端设备的寿命。发生故障时，OHFI 通过闪烁 LED 来指示故障，直到故障复位或达到最长的 24 小时闪烁时间，具体取决于故障类型。在使用一次电池作为电源时，闪烁小时数受电池的安时额定值限制。主要参数旨在通过使用小安时电池延长终端设备的寿命。要增加闪烁小时数或延长 OHFI 的使用寿命，必须使用安时较高的电池。

这可通过能量收集加以解决。使用 CT 或太阳能电池来收集能量并为可再充电电池或超级电容器充电。电池充电后，可支持一定的闪烁小时数。因此，较小的可再充电电池每充一次电即可支持一定的闪烁小时数。在此 TI 设计中，实施了两种电源架构以便从 CT 或太阳能电池收集能量。请参阅 3 节 了解更多详细信息。

表 1. 主要系统规格

参数	说明
能源收集输入	太阳能板：用于从低至 0.5V 的电压源收集能量的低功耗、高效率能源收集装置
	CT：工作范围 9 至 100mA (CT 二次电流)
能源收集输出	二次 (可再充电) 电池：为 3.6V 1Ah 电池充电。
	超级电容器：2.7V 10F
电源多路复用器	在一次电池和基于 CT 的能量收集子系统之间自动切换以保持至少 3.3V 的负载电压
LED 指示	选项 1：6 个高亮度 LED，分为两组，每组三个，分别为红色/琥珀色/白色，最小额定电流 20mA 选项 2：1 个高亮度红色 LED，最小额定电流 75mA 选项 3：10 个高亮度红色 LED，分为两组，每组五个，串联，最小额定电流 30mA
LED 强度控制	用于控制 LED 强度的光传感，可分为三个步骤
接口	I ² C 接口：用于将 LED 驱动器和环境光传感器连接到 MSP430FR5739 LaunchPad™ I ² C 电平转换器：用于连接 MCU 和 TIDA-00998 的 2 位双向转换器
多路复用一次电池和二次电池	两对，每对两个 P 通道 FET，-20V V _{DS} ，以背靠背配置连接，由 bq25505 驱动

2 系统概述

2.1 方框图

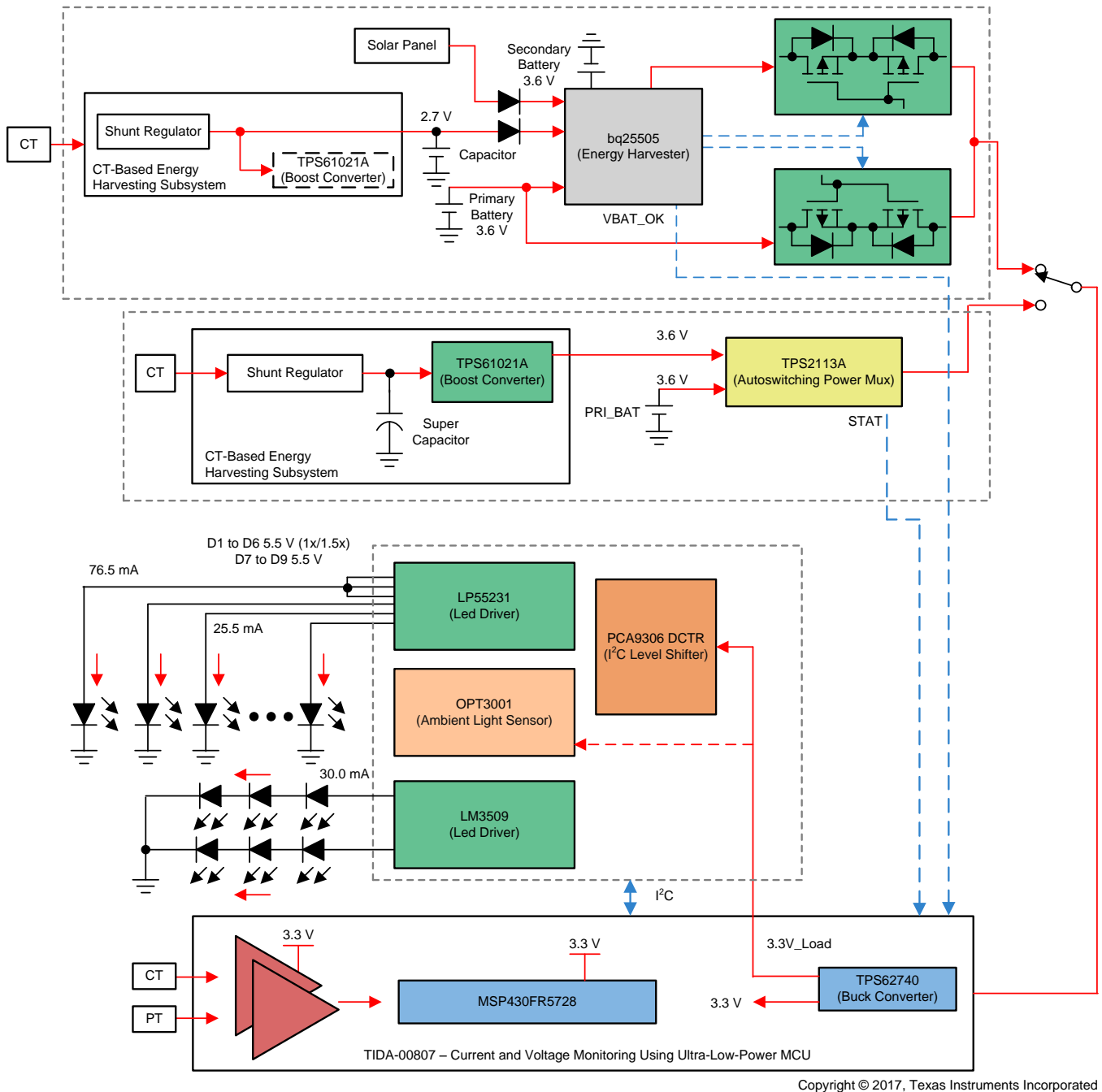


图 1. TIDA-00998 方框图

TIDA-00998 方框图包含以下部分:

- 能量收集架构 1: 使用 CT 或太阳能输入
- 能量收集架构 2: 使用 CT 和超级电容器
- LED 指示和 I²C 接口

2.2 重点产品

此参考设计采用 bq25505、LP55231、LM3509、OPT3001 和 TPS2113 器件。有关每个器件的更多信息，请参见 www.TI.com 上相应的产品文件夹。

2.2.1 bq25505

bq25505 经过专门设计，可以有效地提取光电（太阳能）或热电发电机 (TEG) 等各种直流能源收集、高阻抗源产生的微瓦 (μW) 至毫瓦 (mW) 级的电能，而不会导致这些输入源发生故障。当 VSTOR 电压高于 VSTOR_CHGEN（通常为 1.8V）时，这些升压充电器可以有效地从 TEG、单电池或双电池太阳能电池板等低输出电压收集装置提取电能，输出低至 $V_{\text{IN(DC)}}$ 的电压（最小 100mV）。从 $V_{\text{STOR}} = V_{\text{BAT}} < 100\text{mV}$ 时起，冷启动电路需要至少 $V_{\text{IN(CS)}}$ （通常为 330mV）的输入电压才能对 VSTOR 进行充电至 1.8V。

此器件的主要特性包括：

- 超低功耗，采用高效直流/直流升压充电器：
 - 冷启动电压： $V_{\text{IN}} \geq 330\text{mV}$
 - 从低至 100mV 的输入源中持续采集能量
 - 325nA 的超低静态电流
 - 具有防止高阻抗输入源故障的输入电压调节功能
 - 电池电流 $< 5\text{nA}$ 的运输节电模式
- 能源可以存储到可再充电的锂离子电池、薄膜电池、超级电容器或传统电容器中
- 用户可编程的过压电平和内部设置的低压电平
- 电池正常输出标志：
 - 可编程的阈值和磁滞
 - 功率损耗待定的随附报警功能的 MCU
 - 可用于启用或禁用系统负载
- 用于从多种能源收集装置中实现最优能量提取的集成 MPPT
- 用于主储能元件（非可再充电）和备用储能元件（可再充电）多路复用的栅极驱动器

要获取更多相关信息，请参阅 [bq25505 产品页](#)。

2.2.2 LP55231

LP55231 是一款 9 通道 LED 驱动器，专用于为移动设备制造灯光效果。采用高效的电荷泵，支持在锂离子电池电压范围内驱动 LED。该器件配有内部程序存储器，可在不使用处理器控制的情况下运行。

此器件的主要特性包括：

- 三个独立的程序执行引擎，九个满量程电流为 25.5mA 的可编程输出，8 位电流设置分辨率和 12 位 PWM 控制分辨率
- 自适应高效 1x/1.5x 分数型电荷泵，效率高达 94%
- LED 驱动效率高达 93%
- 电荷泵具有软启动过流和短路保护
- 内置 LED 测试
- 待机电流典型值 200nA
- 自动节电模式；IVDD = 10μA（典型值）
- 两线制 I²C 兼容控制接口
- 灵活的指令集
- 大容量 SRAM 程序存储器
- 小型应用电路
- 源极（高侧）驱动器
- 架构支持颜色控制

要获取更多相关信息，请参阅 [LP55231 产品页](#)。

2.2.3 LM3509

LM3509 电流模式升压转换器提供两个独立的输出。第一个输出 (MAIN) 是一个恒流灌电流，用于驱动串联白色 LED。第二个输出 (SUB/FB) 可以配置为串联白色 LED 偏置的恒流灌电流，或者配置为反馈引脚，以便设置用于为 OLED 面板供电的恒定输出电压。

此器件的主要特性包括：

- 集成式 OLED 显示屏电源和 LED 驱动器
- 以 30mA 的电流驱动多达 10 个 LED
- 以 20mA 的电流驱动多达 5 个 LED 并在 40mA 下提供高达 21V 的电压
- 效率超过 90%
- 32 个指数调光步进
- 灯串间的电流匹配精度为 0.15%
- 内部软启动限制了浪涌电流
- 针对 LED 的真正关断隔离
- 2.7 至 5.5V 宽输入电压范围
- 21V 过压保护
- 1.27MHz 固定频率工作
- 薄型 10 引脚 WSON 封装 (3mm × 3mm × 0.8mm)
- 通用 I/O

- 低电平有效硬件复位

要获取更多相关信息，请参阅 [LM3509 产品页](#)。

2.2.4 OPT3001

OPT3001 传感器用于测量可见光的密度。传感器的光谱响应与人眼的视觉响应紧密匹配，其中具有很高的红外线阻隔。

OPT3001 是一款可如人眼般测量光强的单芯片照度计。OPT3001 器件兼具精密的频谱响应和较强的 IR 阻隔功能，因此能够如人眼般准确测量光强且不受光源影响。对于为追求美观效果而需要将传感器安装在深色玻璃下的工业设计而言，较强的红外阻隔功能还有助于保持高精度。

此器件的主要特性包括：

- 采用精密光学滤波，以与人眼匹配：可阻隔 99%（典型值）以上的红外线
- 自动量程设置功能可简化软件并确保配置适当
- 测量范围：0.01 lux 至 83k lux
- 23 位有效动态范围，具有自动增益范围设定功能
- 12 种二进制加权量程范围设置：范围间匹配程度 < 0.2%（典型值）
- 低工作电流：1.8 μ A（典型值）
- 运行温度范围：-40°C 至 85°C
- 宽电源范围：1.6 至 3.6V
- 可耐受 5.5V 电压的 I/O
- 灵活的中断系统

要获取更多相关信息，请参阅 [OPT3001 产品页](#)。

2.2.5 TPS2113A

TPS2113A 可在两个电源（例如电池和墙壁适配器）之间实现无缝转换，每个电源的工作电压为 2.8 至 5.5V，并可提供高达 2A 的电流，具体取决于封装。它包含丰富的保护电路，包括用户可编程电流限制、热保护、浪涌电流控制、无缝电源转换、跨导阻断和逆导阻断。这些特性极大地简化了电源多路复用器应用的设计。

此器件的主要特性包括：

- 采用低 $R_{DS(on)}$ 开关的两输入、一输出电源多路复用器：典型值 84m Ω (TPS2113A)，典型值 120m Ω (TPS2112A)
- 逆导和跨导阻断
- 宽工作电压：2.8 至 5.5V
- 低待机电流：典型值 0.5 μ A
- 低工作电流：典型值 55 μ A
- 可调电流限制
- 受控的输出电压转换时间：限制浪涌电流并最大限度地降低输出电压保持电容
- 兼容 CMOS 和 TTL 的控制输入
- 自动切换操作模式
- 热关断

要获取更多相关信息，请参阅 [TPS2113A 产品页](#)。

2.2.6 PCA9306

PCA9306 器件是一款采用使能 (EN) 输入的双路双向 I²C 和 SMBus 电压电平转换器，可在 1.2 至 3.3V VREF1 和 1.8 至 5.5V VREF2 的范围内工作。PCA9306 器件可以在 1.2 和 5V 之间实现双向电压转换而无须使用方向引脚。此开关具有低导通状态电阻 (RON)，可以最短传播延迟建立连接。

此器件的主要特性包括：

- 2 位双向转换器，适用于混合模式 I²C 应用中 SDA 和 SCL 线路
- 小于 1.5ns 的最大传播延迟，适应标准模式和快速模式 I²C 器件和多个主控器
- 在无方向引脚的情况下提供双向电压转换
- 输入和输出端口之间 3.5Ω 的低导通电阻提供更少的信号失真

要获取更多相关信息，请参阅 [PCA9306 产品页](#)。

2.2.7 TPS61021A

TPS61021A 为由碱性电池、镍氢电池、锂锰电池或锂离子电池供电的便携式或智能设备提供了一套电源解决方案。TPS61021A 能够在电池放电至 1.8V 的低电压时提供 3.3V 电压和 1.5A 电流输出。TPS61021A 支持 0.5V 输入电压，从而延长了电池的运行时间。

此器件的主要特性包括：

- 输入电压范围：0.5 至 4.4V
- 启动时的最小输入电压为 0.9V
- 输出电压设置范围：1.8 到 4.0V
- 效率高达 91% ($V_{IN} = 2.4V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 且 $I_{OUT} = 1.5A$ 时)
- 17μA 静态电流（典型值）

要获取更多相关信息，请参阅 [TPS61021A 产品页](#)。

3 系统设计原理

如 1 节 中所述，可以使用太阳能或通过收集负载电流来为 OHFI 供电。此 TI 设计中演示了两种电源架构。在第一种架构中，可以使用 CT 或太阳能电池来收集能量。第二种架构仅适用于使用 CT 收集能量，这是业界更为常用的一种方法。储能元件和电压电平已针对此 TI 设计中的两种选项进行优化。

3.1 能量收集架构 1：使用 CT 或太阳能输入

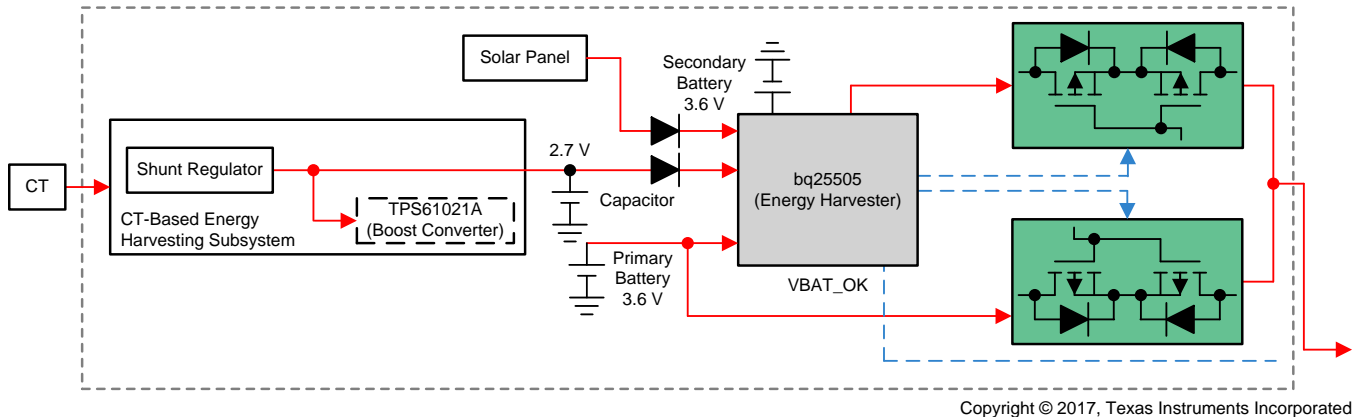


图 2. 使用 bq25505 的 CT 或太阳能输入架构

在此架构中，使用 CT 或太阳能电池收集能量。可以使用 CT 从极低的负载电流收集能量。使用太阳能输入时，能量可用性常具有散发性或时变性。能量收集装置应能够从极低的输入电压收集能量。配备内置升压控制器和 MPPT 的 bq25505 可以从低至 80mV 的电压收集能量。

能量收集系统通常需要使用某种类型的储能元件，如可再充电电池、超级电容器或传统电容器。储能元件的选择取决于输出端所连接负载的工作电压范围。如果使用超级电容器，其后面应连接一个升压转换器以便彻底使用超级电容器中存储的能量。由于 bq25505 输出可直接连接到负载，因此可使用标称电压为 3.6V 的可再充电电池作为储能元件。4.2V 的完全充电电压和完全放电条件下的 3.3V 低电压确保了在连接到 LED 驱动器和 TIDA-00807 设计时，可以用尽电池中存储的所有能量。TIDA-00807 需要的最小电压是 3.3V。CT 二次侧连接到基于 CT 的能量收集子系统。并联稳压器输出 (2.7V) 馈送给 bq25505 以便为二次电池充电。太阳能电池可以直接连接到 bq25505。在 TIDA-00998 设计中，可以连接这两个输出中的任意一个。

3.1.1 bq25505 配置

注：在适用情况下，此 TI 设计中选择了最接近的可用电阻值。

故障指示灯应能够在绝大部分时间使用从替代电源收集的能量工作，以此延长一次电池的寿命。为了实现这一目的，应对 bq25505 的电源管理进行适当配置。这包括设置适当的电压范围条件，在此条件下，负载从二次（可再充电）电池 (VBAT_SEC) 而非一次（非可再充电）电池 (VBAT_PRI) 获得能量。当二次电池放电到不可接受的电量时，VBAT_OK_PROG 将会进行指示。在发生这种情况时，负载将开始从备用电池获得能量，并让二次电池充电。下列等式给出了所需的电压电平：

$$VBAT_{OV} = \frac{3}{2} VBIAS \left(1 + \frac{R_{OV2}}{R_{OV1}} \right) = 4.2 \text{ V} \tag{1}$$

$$VBAT_OK_PROG = VBIAS \left(1 + \frac{R_{OK2}}{R_{OK1}} \right) = 3.3 \text{ V} \tag{2}$$

$$VBAT_OK_HYST = VBIAS \left(1 + \frac{R_{OK2} + R_{OK3}}{R_{OK1}} \right) = 3.6 \text{ V} \tag{3}$$

$$RSUM_{OV} = R_{OV1} + R_{OV2} = 13 \text{ M}\Omega \tag{4}$$

$$R_{OK1} + R_{OK2} + R_{OK3} = 13 \text{ M}\Omega \tag{5}$$

$$R_{OV1} (R8) = \frac{3}{2} \times \frac{RSUM_{OV} \times VBIAS}{VBAT_{OV}} = \frac{3}{2} \times \frac{13 \text{ M}\Omega \times 1.21 \text{ V}}{4.2 \text{ V}} = 5.61 \text{ M}\Omega \rightarrow 5.62 \text{ M}\Omega \tag{6}$$

$$R_{OV2} (R9) = RSUM_{OV} - R_{OV1} = 13 \text{ M}\Omega - 5.61 \text{ M}\Omega = 7.38 \text{ M}\Omega \rightarrow 7.32 \text{ M}\Omega \tag{7}$$

$$R_{OK1} (R12) = \frac{VBIAS \times RSUM_{OK}}{VBAT_{OK_HYST}} = \left(\frac{1.21 \text{ V}}{3.63 \text{ V}} \right) \times 13 \text{ M}\Omega = 4.369 \text{ M}\Omega \rightarrow 4.32 \text{ M}\Omega \tag{8}$$

$$R_{OK2} (R13) = \left(\frac{VBAT_OK}{VBIAS} - 1 \right) \times R_{OK1} = \left(\frac{3.3}{1.21} - 1 \right) \times 4.32 \text{ M}\Omega = 7.462 \text{ M}\Omega \rightarrow 7.5 \text{ M}\Omega, \text{ then} \tag{9}$$

$$R_{OK3} (R14) = RSUM_{OK} - R_{OK1} - R_{OK2} = 13 \text{ M}\Omega - 4.32 \text{ M}\Omega - 7.5 \text{ M}\Omega = 1.18 \text{ M}\Omega \tag{10}$$

在对数值修约后，可得到最接近的值，VBAT_OV、VBAT_OK_PROG 和 VBAT_OK_HYST 分别为 4.18V、3.311V 和 3.641V。

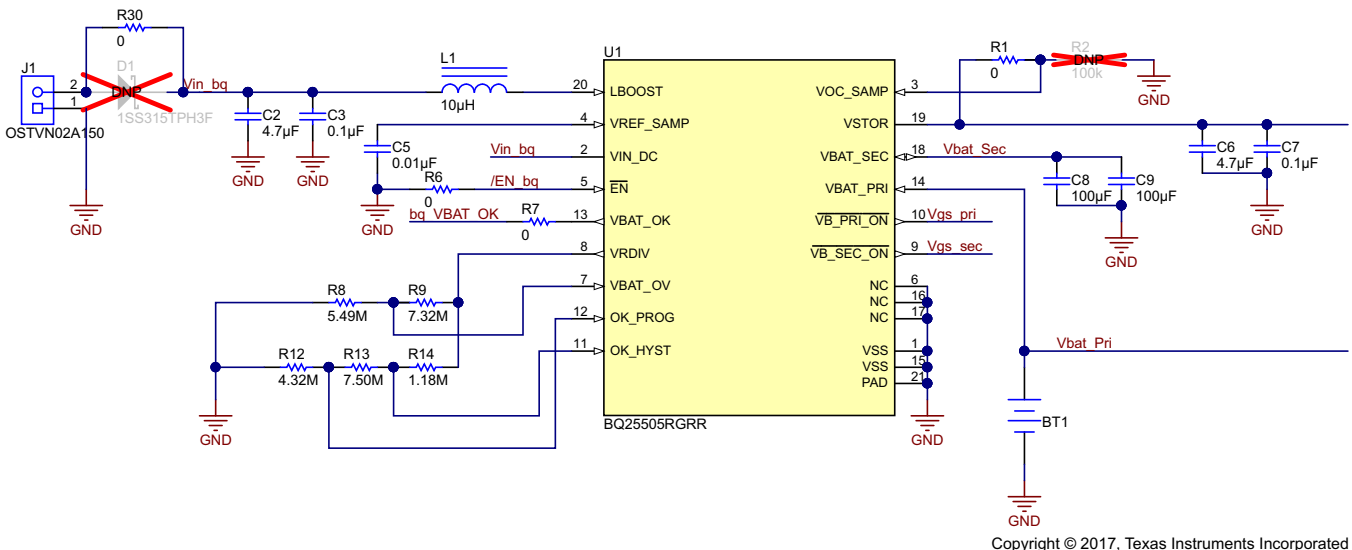


图 3. 利用太阳能输入为锂离子电池充电的 bq25505 配置

3.1.1.1 二次电池充电的最大功率点跟踪

太阳能电池板 MPP 随着电池板上的光量和温度而变化。能量收集器制造商以收集装置开路 (OC) 电压百分比的形式列出了 MPP。因此，bq25505 实施一个可编程最大功率点跟踪 (MPPT) 采样网络来优化进入器件的功率传输。在本 TI 设计中，VSTOR 连接到 VBAT_SEC 以提供 80% MPPT。

3.1.1.2 推挽式多路复用器驱动器

根据 VBAT_OK 信号不同，有两种推挽式驱动器适合在 VBAT_PRI 上连接的非可再充电主储能元件和 VBAT_SEC 上连接的备用储能元件之间实现多路复用。当 VBAT_OK 信号变为高电平，即指示 VBAT_SEC 上的可再充电二次电池高于 VBAT_OK_HYST 阈值时，VB_PRI_ON 输出变为高电平，然后 VB_SEC_ON 信号变为低电平，以将 VBAT_SEC 连接到系统输出。当 VBAT_OK 信号变为低电平，即指示 VBAT_SEC 上的可再充电二次电池低于 VBAT_OK 阈值时，VB_SEC_ON 输出变为高电平，然后 VB_PRI_ON 信号变为低电平，以将 VBAT_PRI 连接到系统。

3.1.2 太阳能电池板选择

所需的太阳能电池额定值与储能元件的额定值成正比，并且受 bq25505 额定值的限制。bq25505 充电器的逐周期电流限制通常为 230mA（平均为 125mA），最大输入电压为 5.1V。

在本 TI 设计中，来自 IXYS 的 SLMD121H04L 是一种单晶太阳能电池，使用时的典型工作 MPP 电压为 2.0V，电流为 44.6mA。其最大峰值功率为 89.2mW。为了提高电池充电电流，并行连接了两个此类器件。

3.2 能量收集架构 2: 使用 CT 和超级电容器

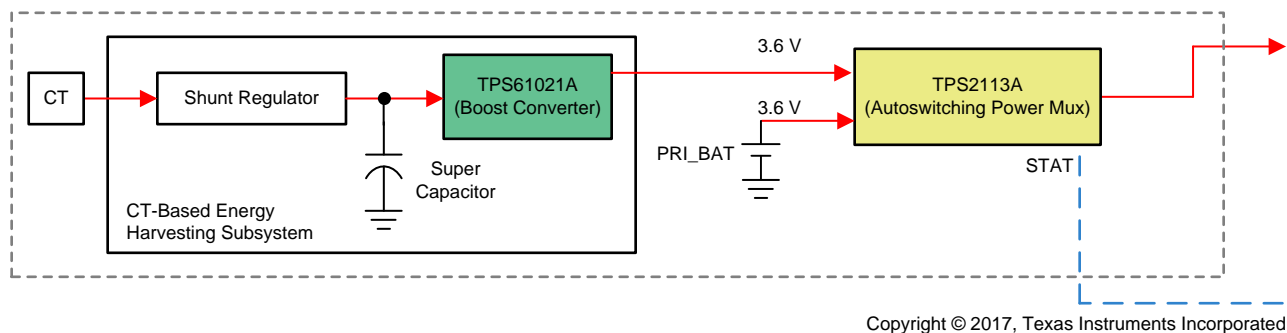


图 4. 使用 TPS61021A 和 TPS2113A 的 CT 输入架构

此架构适用于仅使用 CT 作为能量收集源的系统。CT 输入连接到基于 CT 的能量收集子系统。此架构中使用超级电容器作为储能元件。并联稳压器在 2.7V 的电压下为超级电容器充电。TPS61021A 将超级电容器电压升压到 3.6V。TPS2113A 将输出连接到 TPS61021A 或一次电池，具体取决于电压电平和 VNS 配置。STAT 引脚指示一次电池的状态。

3.2.1 TPS2113A 配置

在本 TI 设计中，电源多路复用器 TPS2113A 用于在超级电容器和一次电池之间自动切换到电源负载。如果 VSNS 大于 0.8V，则 OUT 连接到 IN1；否则，OUT 连接到 IN1 和 IN2 中的较高者。当 IN1 降至 3.6V 以下时，输出将切换到与 IN2 相连的一次电池。TPS2113A 具有 60mV 的内部磁滞，用于在两个输入电源之间自动切换。

$$VSNS = 3.6 \text{ V} \times \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 0.8 \text{ V} \quad (11)$$

根据 公式 11，R4 和 R5 电阻器分别选择使用 3.48M 和 1.00M。

根据，使用在引脚 4 (I_{LIM}) 处接地的外部电阻器 (R_{ILIM}) 设置输出电流限制 (I_{LIM}) 公式 12。在本 TI 设计中，选择使用了 499Ω 的 R_{ILIM} ，以将电流限制设置为 $1A$ 。

$$R_{ILIM} = \frac{500}{I_{LIM}} \tag{12}$$

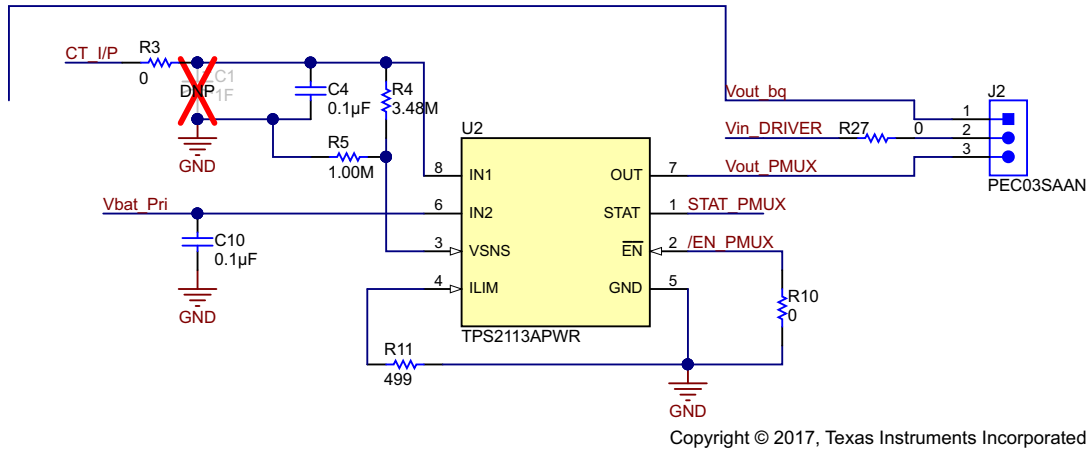


图 5. TPS2113A 配置

3.3 LED 指示和 PC 接口

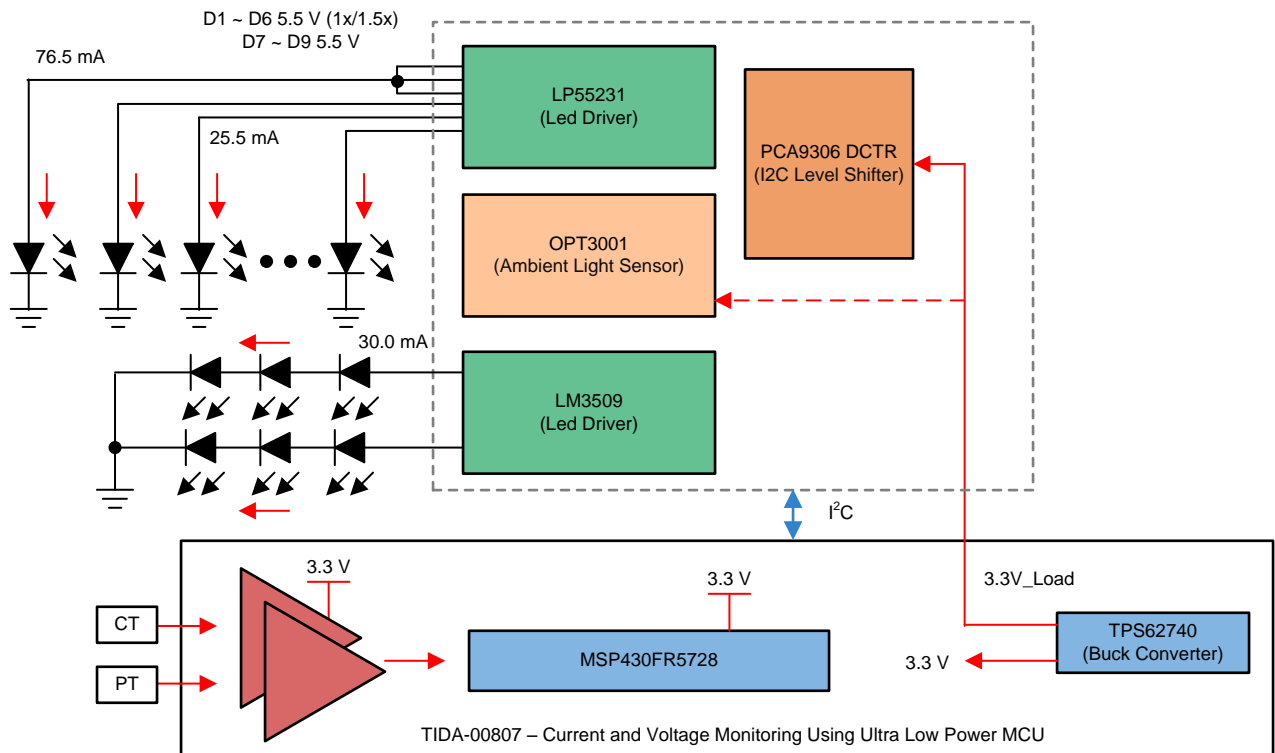


图 6. LED 故障指示和 TIDA-00807 接口

在为此应用选择 LED 驱动器的过程中，主要参数是用于延长电池工作寿命的低静态电流和峰值效率。此 TI 设计中演示了两种 LED 驱动器。第一个是 LP55231，它是一种九通道并联 LED 驱动器。第二个是 LM3509，具有适用于串联 LED 的集成式升压开关。它们通过 I²C 总线进行控制和配置。为了获得高效率，它们用 TIDA-00807 设计中的 TPS62740 输出供电。来自功率级的两个输出中的任一输出使用连接器 J2 连接到 TIDA-00807。TIDA-00807 设计中的 TPS62740 将输出电压调节到 3.3V。

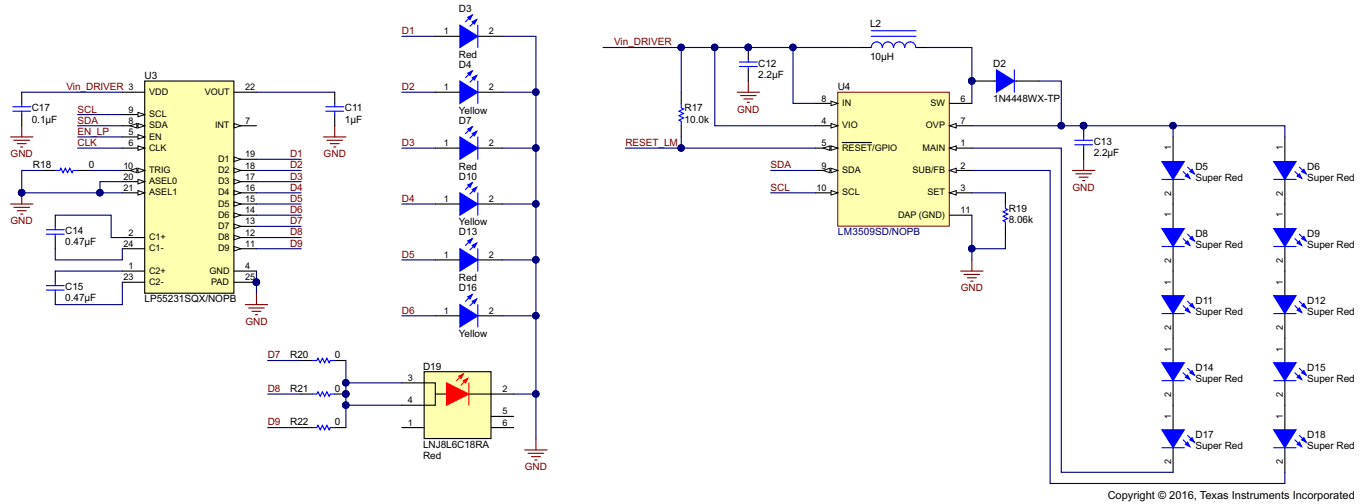
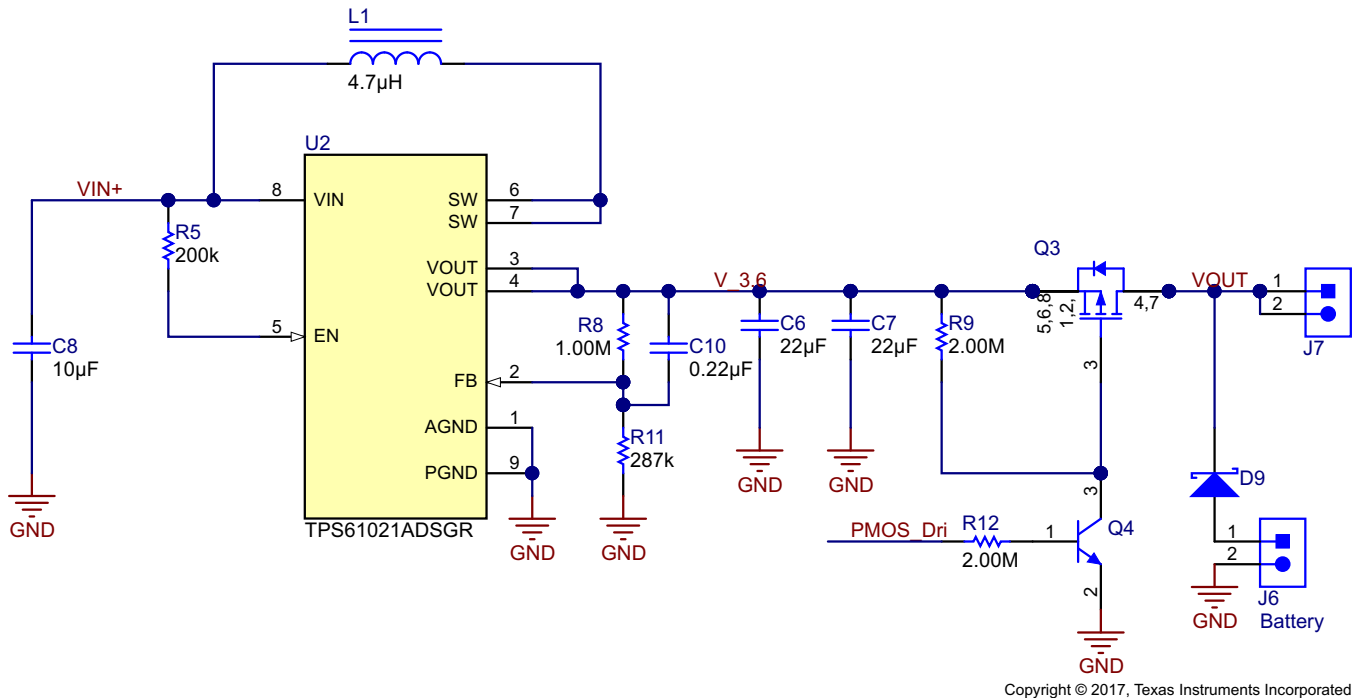


图 7. LP55231 和 LM3509 配置

3.4.2 TPS61021A (带集成开关的升压转换器)

在本 TI 设计中, TPS61021A 用于将超级电容器电压升压到 3.6V。TPS61021A 能够在电池放电至 1.8V 的低电压时提供 3.3V 电压和 1.5A 电流输出。TPS61021A 支持以 0.5V 的输入电压运行, 从而延长了电池的运行时间。在此设计中, 由于二极管 D1 (图 8) 产生的压降, 超级电容器 (VSUP) 上要升压的最小电压为 0.69V。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 10. TPS61021A 升压转换器配置

3.4.3 超级电容器备份时间估算

此 TI 设计中使用了一个 10F 2.5V 电容器。超级电容器的泄漏电流为 30µA, ESR 为 75mΩ。在待机模式下, TIDA-00807 板需要 15µA, 3.6V 电源。

$$\text{Energy stored in supercapacitor, } E_S = \frac{1}{2} \times C \times (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{2} \times 10 \times (2.5^2 - 0.69^2) = 28.87 \text{ J} \quad (13)$$

$$\text{Power loss due to leakage current of supercapacitor, } P_{LK} = \frac{1}{2} \times (V_1 + V_2) \times I_{LKG} = \frac{1}{2} \times (2.5 + 0.69) \times 30 \mu = 47.85 \mu\text{W} \quad (14)$$

$$\text{Standby power consumption of TIDA-00807, } P_{LOAD} = \frac{V_{LOAD} \times I_{STANDBY}}{\eta_{TPS61021}} = \frac{3.6 \times 15 \mu}{60\%} = 90 \mu\text{W} \quad (15)$$

$$\text{Power loss due to ESR of supercap, } P_{ESR} = \left(\frac{P_{LOAD}}{\frac{1}{2} \times (V_1 + V_2)} \right)^2 \times \text{ESR}_{\text{SUPERCAP}} = \left(\frac{90 \mu\text{W}}{\frac{1}{2} \times (2.5 + 0.69)} \right)^2 \times 0.075 = 238.79 \text{ pW} \quad (16)$$

$$\text{Total backup time, } t = \frac{E_S}{P_{LK} + P_{LOAD} + P_{ESR}} = \frac{28.87 \text{ J}}{(43.5 \mu\text{W} + 90 \mu\text{W} + 238.79 \text{ pW}) \times 3600} = 56.41 \text{ hrs} \quad (17)$$

4 硬件和软件入门

4.1 硬件

本节介绍了集成各个电路板以测试本 TI 设计的功能和性能的相关信息。

4.1.1 TIDA-00998 板连接

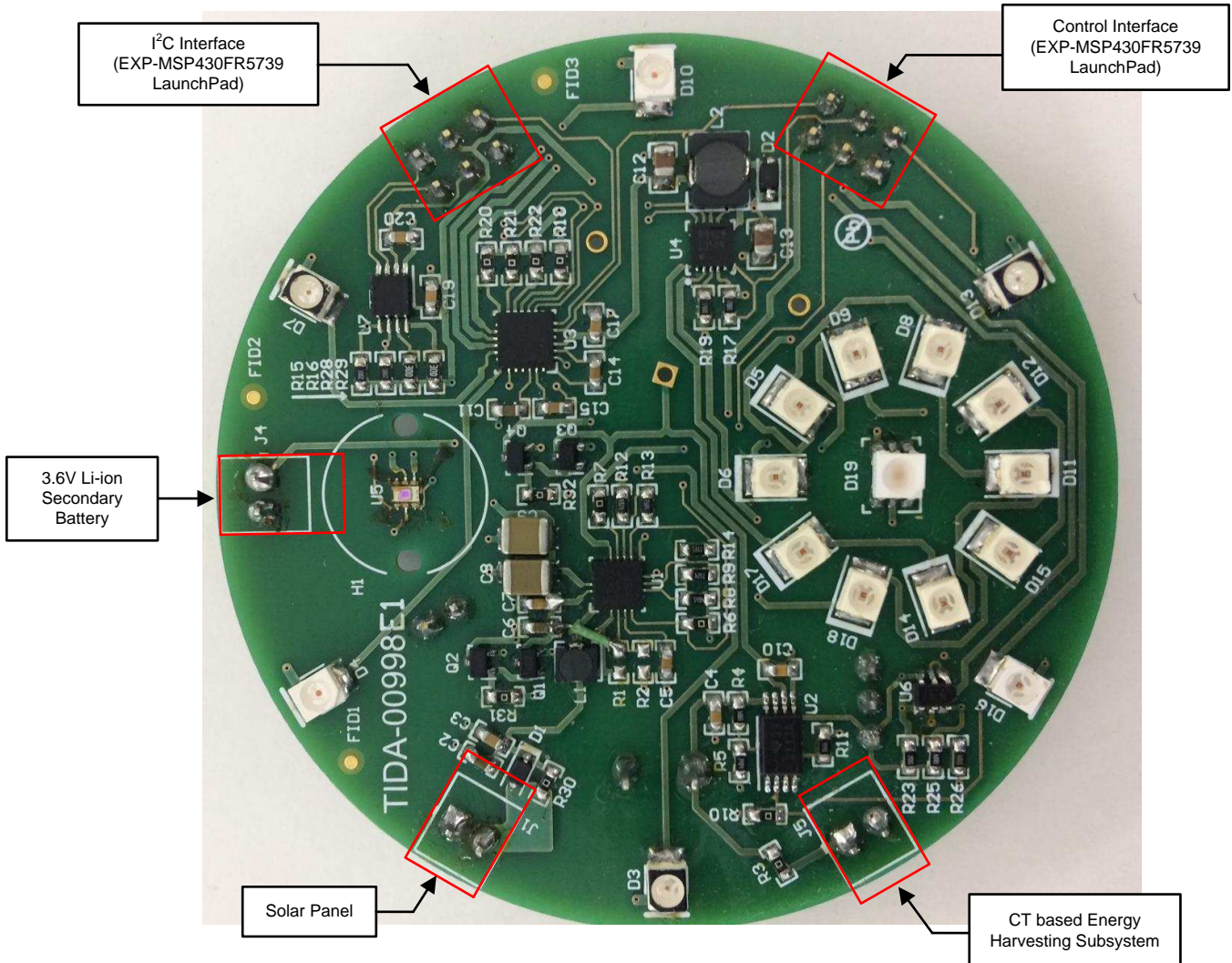
表 2 提供了 TIDA-00998 设计的引脚连接信息。

表 2. TIDA-00998 连接

功能	输入	信号名称	引脚
bq25505 太阳能电池输入	电源	VIN_BQ	J1-2
		GND	J1-1
二次电池	电源	VBAT_SEC	J4-1
		GND	J4-2
一次电池	电源	VBAT_PRI	BAT+
		GND	XDS110 与
基于 CT 的能量收集子系统输入	电源	CT_I/P	J5-1
		GND	J5-2
主机接口	I ² C 接口	SDA1	J3-1
		SCL1	J3-2
		CLK	J3-5
		GND	J3-6
启用/状态信号	信号	bq_VBAT_OK	J6-5
		/EN_bq	J6-3
		/EN_PMUX	J6-2
		/EN_LP	J6-6
		STAT_PMUX	J6-1

4.1.2 连接至基于 CT 的能量收集子系统 和 EXP-MSP430FR5739 LaunchPad 的 TIDA-00998 接口

图 11 提供了测试 TIDA-00998 设计功能和性能使用的设置信息。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 11. TIDA-00998 硬件接口图

4.1.3 MSP-EXP430FR5739 LaunchPad

本 TI 设计使用 MSP-EXP430FR5739 LaunchPad 进行功能和性能测试。P1.6 和 P1.7 配置为 SDA 和 SDL，用于与 LED 驱动器通信。在 VCC 和 P1.6、P1.7 之间连接 10K 上拉电阻器。

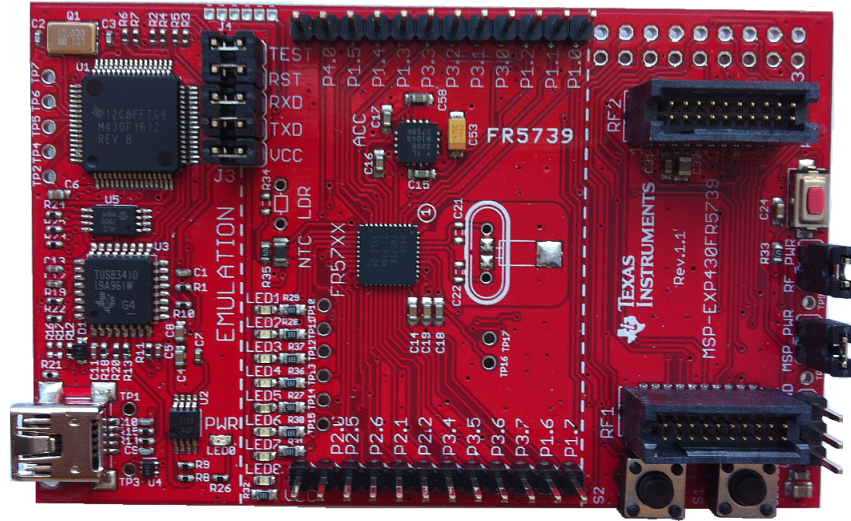


图 12. MSP-EXP430FR5739 LaunchPad

表 3. LaunchPad 连接

功能	信号名称	引脚
I ² C 接口	SDA1	P1-6
	SCL1	P1-7
LP55231 使能信号	/EN_LP	VCC
	接地	GND

要获取更多相关信息，请参阅 [MSP-EXP430FR5739 产品页](#)。

4.2 软件入门

4.2.1 I²C 地址设置

中列出了各器件的 I²C 地址表 4。

表 4. I²C 地址设置

序号	器件	地址
1	LP55231	0x32
2	LM3509	0x36
3	OPT3001	0x44

4.2.2 LP55231 寄存器设置

- 默认寄存器设置：
 - 电荷泵 — 其他寄存器 [0x36] 位 [4:3] 设置为“0-0”以禁用电荷泵
 - 时钟选择 — 其他寄存器 [0x36] 位 [1:0] 设置为“1-1”以禁用电荷泵
 - 输出使能 — 输出开/关控制寄存器 [0x04,0x05] 设置为全 1 以启用所有输出
 - 芯片使能 — 寄存器 [0x00] 位 [6] 设置为 1 以启用该器件
 - 电流设置 — 所有电流控制寄存器 [0x26 – 0x2E] 均设置为“100”以便为每个 LED 提供 10mA 电流
 - PWM 寄存器 — 所有 PWM 寄存器 [0x16 – 0x1E] 均设置为 0xFF 以提供 100% 占空比
- 启用或禁用模式寄存器：
 - 启用 — CMD_LP55231_ON 用于启用 LP55231 LED。最新配置的 LED 将使用默认寄存器设置和配置的最新电流点亮。
 - 禁用 — CMD_LP55231_OFF 命令用于通过将芯片使能寄存器 [0x00] 的位 [6] 设置为“0”来禁用 LP55231
- 单独的通道开关控制：
 - CMD_LP55231_LED_CTRL 命令 — 控制将在 LP55231 中点亮的 LED。所选 LED 将会以设置的电流点亮，其他 LED 将会熄灭
 - PWM 寄存器 [0x16 – 0x1E] — 设置为“0x00”可熄灭未选择的 LED
- 电流控制：
 - CMD_LP55231_SET_CURRENT — 设置 LP55231 中各个 LED 的电流。此命令的参数将直接用于电流寄存器 [0x26 – 0x2E] 以提供“参数值/10 – (mA)”电流
- 闪烁控制：
 - CMD_LP55231_BLINK 用于控制所选用 LED 的闪亮或闪烁。通过交替点亮和熄灭所选用的 LED 实现闪烁
 - PWM 寄存器 [0x16 – 0x1E] 用于点亮和熄灭所选的 LED

4.2.3 LM3509 寄存器设置

- 默认寄存器设置：
 - 除了使能控制外，LM3509 的 GP 寄存器与默认寄存器的设置保持相同
 - 同步模式 — 禁用：此位设置为 0
 - 变化率 — RMP0、RMP1：两个位都设置为 0 以提供 51 μ s/阶跃 的计时
 - OLED 模式 — 通过将此位设置为 0 来禁用此模式
 - ENM、ENS — 默认情况下，通过这两个位设置为“1”来启用这两个 LED 分支
 - 电流 — 默认电流值设置为 ≈ 10 mA
- 启用/禁用模式：
 - GP 寄存器 [0x00] 位 [1:0] — 启用或禁用 LED 分支。将这些位设置为 1 可启用 LED，设置为 0 可禁用 LED
- 单独的通道开关控制：
 - CMD_LM3509_LED_CTRL 命令控制哪个 LED 分支应点亮。与相应位相关的分支将会以设置的电流点亮 LED
- 电流控制：
 - CMD_LM3509_SET_CURRENT 控制 LM3509 中 LED 分支的电流。将会用所述的电流设置两个分支。寄存器 [0xA0、0xB0] 将会设置为给定的值，从而设置电流
- 闪烁控制：
 - CMD_LM3509_BLINK 使所选的 LED 分支闪烁或闪光。通过交替点亮和熄灭所选的 LED 分支实现闪烁。为了开启和关闭 GP 寄存器中的启用位，使用了“0x10 位 [1:0]”

4.2.4 OPT3001 寄存器设置

- 默认寄存器设置：
 - 在寄存器 [0x01] 中配置了以下配置的相应位：
 - 转换时间：设置为 100ms
 - 转换模式：连续转换
 - 范围：自动范围
- 启用或禁用模式：
 - CMD_OPT3001_ON/ CMD_OPT3001_OFF 命令可启用或禁用 OPT3001。将配置寄存器 [0x01] 的转换模式位设置为 0 以禁用 OPT3001。
- 读取光强度：
 - 启用 OPT3001 后，大约每 200ms 测量一次光强度。读取的值转换为等效的 lux 值并打印在 UART 终端上。
 - 使用 [OPT3001 数据表](#) 中的方程式 3 将寄存器数据转换为等效的 lux 值
- 电流控制与环境光强度：
 - CMD_ENABLE_AUTO_MODE 设置 TIDA-00998 板在自动模式下的功能。在此模式下，通过 OPT3001 测量环境光强度，并且按照 [表 5](#) 设置 LM3509 和 LP55231 的电流
 - 仅最新选择的 LED 将会以这个配置的电流值发光

4.2.5 基于环境光强度的 LED 电流设置

表 5 显示了 LP55231 和 LM3509 的电流设置，这些设置基于 OPT3001 的环境光强度（Lux 值）读数。对于低环境光，流过 LED 的电流较低，对于高环境光，则电流较高。

表 5. 强度与电流设置

序号	LUX 值	电流设置
1	Lux < 50	LM3509:5mA
		LP55231: 10mA
2	50 < Lux < 700	LM3509:15mA
		LP55231: 15mA
3	700 > Lux	LM3509:30mA
		LP55231: 20mA

4.2.6 LED 控制命令

以下各小节详细说明了 TIDA-00998 设计的 UART 接口。固件中，LP55231 的默认设置为开，LM3509 为关。有关使用 UART 接口控制 LP55231、LM3509 和 OPT3001 的命令列表，请参见 节 4.2.6.2。

4.2.6.1 串行通信

加载了 MSP430™ 加载 LaunchPad 的固件后，请使用应用的 UART 终端发送命令以控制或配置与 LaunchPad“Hercules”（一款用于验证的串行终端）相连的 LED 驱动器。图 13 显示了终端设置。

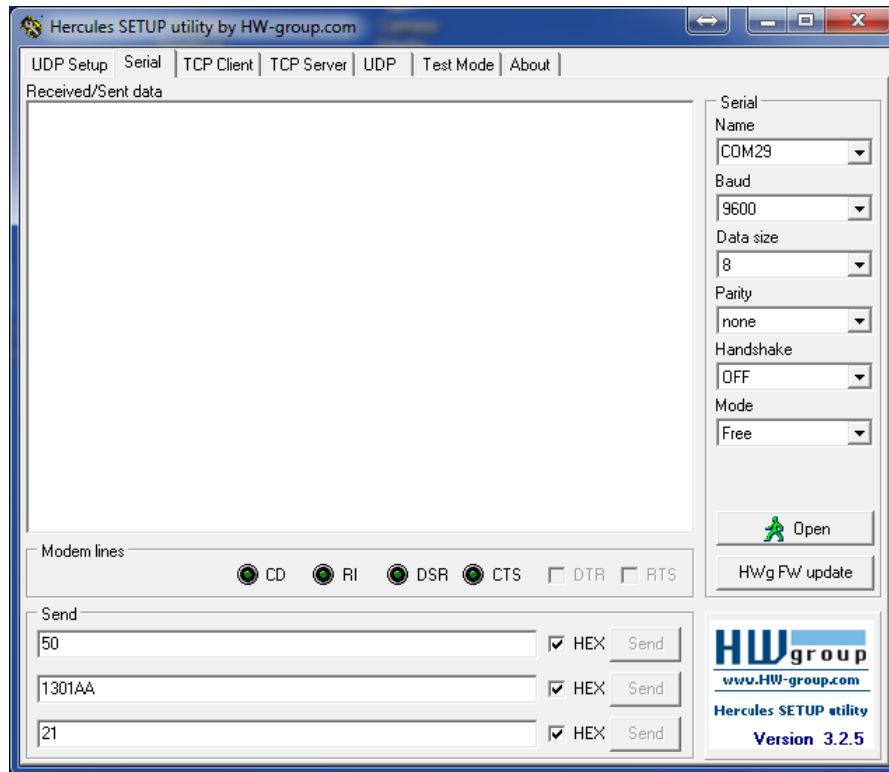


图 13. 用于串行通信的 Hercules 用户界面

4.2.6.2 用于控制或配置 LED 驱动器的命令列表

表 6 列出了用于控制或配置 LED 驱动器的命令。

表 6. 用于控制 LP55231 的命令列表

序号	命令		参数	说明
1	CMD_LP55231_OFF	0x10	—	关断 LP55231 并闪烁
2	CMD_LP55231_ON	0x11	—	用所选用的 LED（初始时选择全部）接通 LP55231
3	CMD_LP55231_BLINK	0x12	—	闪烁所选用的 LED
4	CMD_LP55231_LED_CTRL	0x13	2 字节；位处于高位表示点亮	根据位的位置选择要点亮或闪烁的 LED
5	CMD_LP55231_SET_CURRENT	0x14	1 字节；电流值	将所有 LED 的电流寄存器设置为给定值

表 7. 用于控制 LM3509 的命令列表

序号	命令		参数	说明
1	CMD_LP3509_OFF	0x20	—	关断 LM3509 并闪烁
2	CMD_LP3509_ON	0x21	—	用所选用的 LED（初始时选择全部）接通 M3509
3	CMD_LP3509_BLINK	0x22	—	闪烁所选用的 LED
4	CMD_LM3509_LED_CTRL	0x23	1 字节；BIT0 - Main；BIT1 - SUB	根据位的位置选择要点亮或闪烁的 LED
5	CMD_LM3509_SET_CURRENT	0x24	1 字节；电流值（LSB 5 位）	将所有 LED 的电流寄存器设置为给定值

表 8. 用于控制 OPT3001 的命令列表

序号	命令		参数	说明
1	CMD_OPT3001_OFF	0x30	—	关断 OPT3001
2	CMD_OPT3001_ON	0x31	—	测量 LUX 值并打印在 UART 中
3	CMD_TURNOFF_ALL	0x50	—	全部关断（LP55231、LM3509、OPT3001）
4	CMD_LP55231_LM3509_BLINK	0x51	—	闪烁 LM3509 和 LP55231 的所选用 LED
5	CMD_ENABLE_AUTO_MODE	0x52	—	启用基于环境光强度为 LP55231、LM3509 设置电流。注意：以大约 5 秒的间隔测量光照值
6	CMD_DISABLE_AUTO_MODE	0x53	—	禁用基于环境光强度为 LP55231、LM3509 设置电流。

5 测试和结果

使用以下设备来测试 TIDA-00998 设计：

- Keithley 2450 源表
- Tektronix MSO 2024B 混合信号示波器
- Agilent E3631 直流电源
- Agilent 34401A 6½ 数字万用表
- PTS3.3C
- 电子负载 - KIKUSUI PLZ164WA
- CT AC1020 或等效设备

5.1 能量收集 — 使用 **bq25505** 的 CT 或太阳能输入

5.1.1 冷启动操作

要测试 bq25505 冷启动操作，请执行以下操作：

1. 将 bq25505 输入连接到开路电压为 500mV 的 5mA 直流电流源而不在 VBAT_SEC 处连接任何储能元件。
2. 验证输入电压和 VSTOR 引脚处的电压。

在本 TI 设计中，在 500mV 直流输入电压下验证了冷启动。VSTOR 引脚处的电压从启动时的 0V 达到 1.8V 后，bq25505 将输入电压升压到 4.2V。

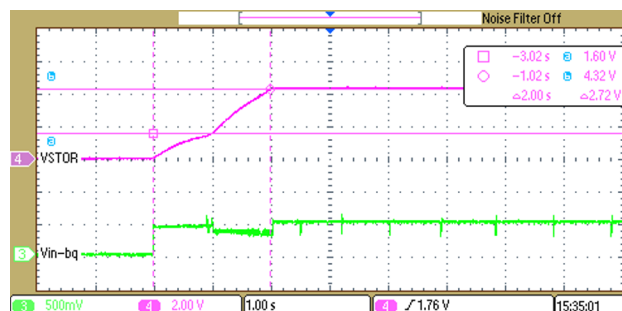


图 14. bq25505 冷启动操作

5.1.2 MPPT 操作

太阳能电池 SLMD121H04L 的峰值效率为其开路电压的 80%。因此，bq25505 配置为跟踪 80% 的输入开路电压。在 1000W/m² 辐照度下，峰值开路电压为 2.5V（最大值）。在 2W/m² 辐照度下，最小开路电压为 1.7V。使用具有电流限制的可编程直流源来模拟此测试的太阳能输入。

要测试 bq25505 MPPT 操作，请执行以下操作：

1. 将可再充电电池连接到 VBAT_SEC。
2. 对 VBAT_PRI 施加 3.6V 直流电。
3. 在 120mA 电流限制下对 bq25505 输入（J1 连接器）施加 2.5V 直流电。
4. 记录 bq25505 输入电压 (VIN_BQ) 和电流。
5. 记录 VBAT_SEC 电压 (VBAT_SEC) 和电流。
6. 在 3V、2.5V 和 2V 输入下重复步骤 1 至 5。
7. 在 100mA 和 50mA 输入电流限制下重复步骤 1 至 6。

bq25505 已针对在 2V 和 2.5V 输入电压下捕获 80% 开路电压的跟踪输入进行配置。在 2V 120mA 输入电流下，最低充电效率为 80%。

表 9. MPPT 验证

序号	直流输入			电池		效率
	V _{IN_BQ(OC)} (V)	I _{IN_LIMIT} (mA)	V _{IN_BQ} (V)	电压 (V)	电流 (mA)	
1	2.5	120	2.385	4.101	57.101	81.82%
2	2.0	120	1.727	4.087	40.500	79.87%
3	2.5	100	2.118	4.082	43.260	83.37%
4	2.0	100	1.723	4.070	34.240	80.88%
5	2.5	50	2.058	4.055	22.070	86.97%
6	2.0	50	1.664	4.048	17.330	84.32%

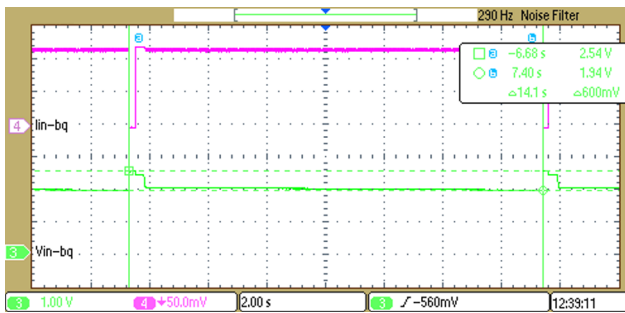


图 15. Vin_bq = 2.5V (在 120mA 下)

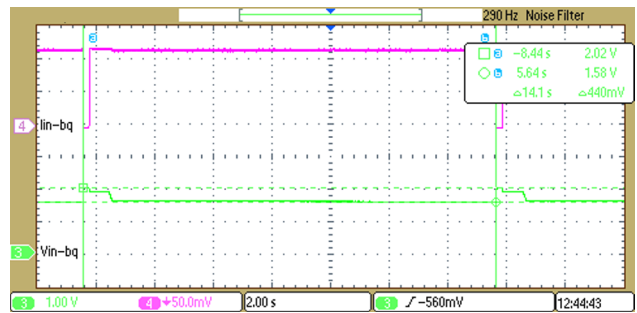


图 16. Vin_bq = 2.0V (在 120mA 下)

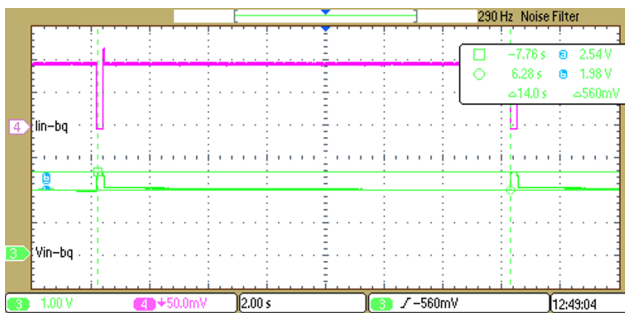


图 17. Vin_bq = 2.5V (在 100mA 下)

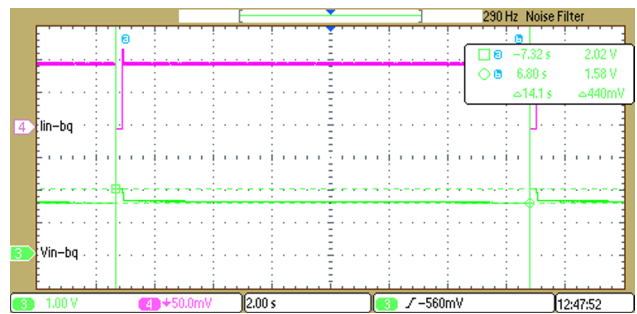


图 18. Vin_bq = 2.0V (在 100mA 下)

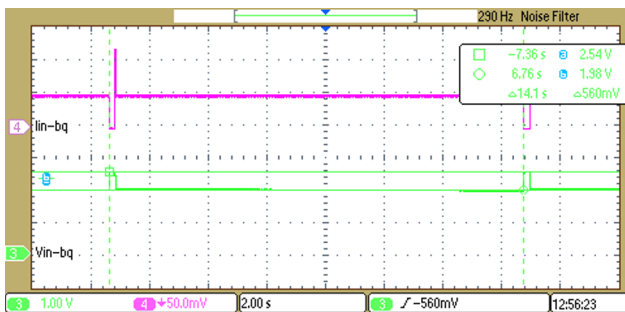


图 19. Vin_bq = 2.5V (在 50mA 下)

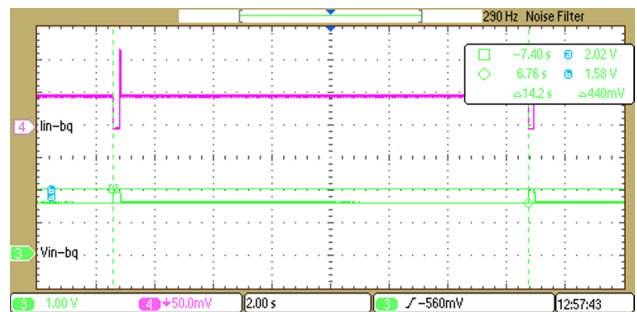


图 20. Vin_bq = 2.0V (在 50mA 下)

5.1.3 自动切换操作

可再充电的锂离子单节电池的典型电压为 3.6V。充满电和完全放电情况下的电池电压分别为 4.2V 和 3.3V。因此，bq25505 配置为在可再充电电池电压降至 3.3V 以下时将负载切换到一次电池。电池充电后，负载以 0.3V 的磁滞切换回 3.6V 的可再充电电池。当负载连接到可再充电电池时，VBAT_OK 引脚变为高电平，或者当其变为低电平时，即指示电池状态正常。

要测试 bq25505 自动切换操作，请执行以下操作：

1. 在 VBAT_PRI 处施加 3.6V 直流电。
2. 在 VSTOR 处连接一个外部直流源并将电压从 3V 变为 4.2V，然后降低至 3V。
3. 验证 VBAT_PRI、VSTOR 和 VOUT_BQ 电压。

当可再充电电池充电时，bq25505 输出切换到 3.6V 的 VSTOR，而当可再充电电池放电时，则切换到 3.3V 的一次电池。当从一次电池为输出供电时，VBAT_OK 引脚变为低电平。

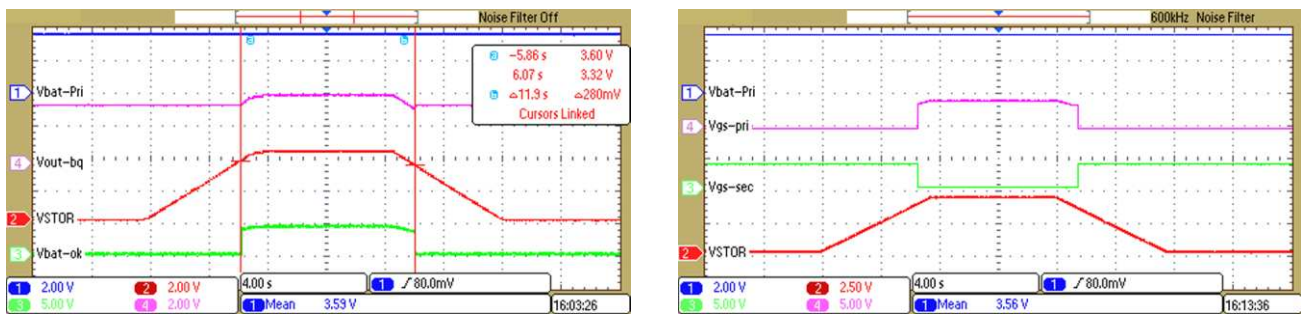
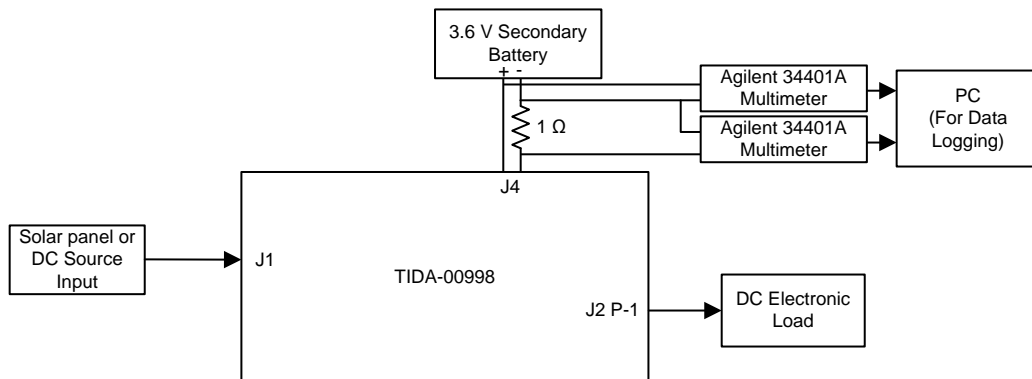


图 21. 在 VSTOR 和 VBAT_PRI 之间自动切换

5.1.4 锂离子电池充电和放电

此测试中捕获了一个完整的充电和放电周期。充满电和完全放电情况下的电池电压分别为 4.2V 和 3.3V。对于正在充电的电池，bq25505 的输入为 2.5V，120mA。电池充满电后，将会以 100mA 的恒流负载放电以检查备份时间。bq25505 配置为当 VSTOR 电压降至 3.3V 时切换到一次电池。bq25505 的 VBAT_SEC 和 VSTOR 之间的最大电阻为 1.5Ω。在 100mA 负载电流下，负载切换到一次电池时的 VBAT_SEC 电压为 $3.3V + (0.1 \times 1.5) = 3.45V$ 。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 22. 电池充电和放电的测试设计

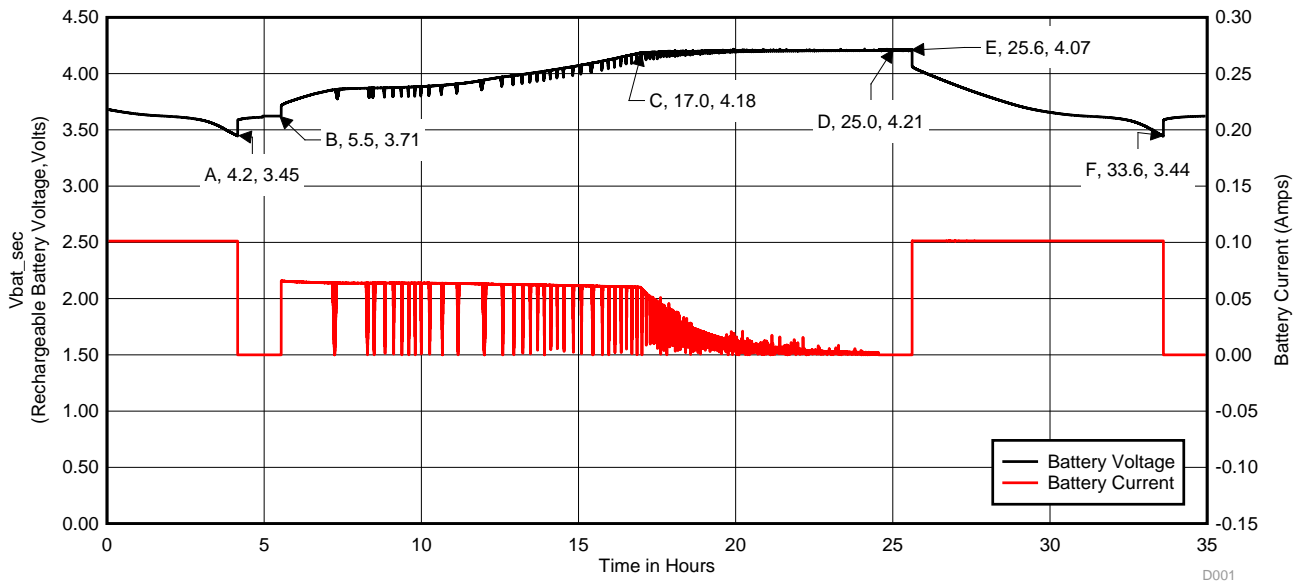


图 23. 电池充电和放电

显示了使用 bq25505 的可再充电电池的充电和放电周期。在时间 $t = 0$ 小时时，电池以 100mA 的恒流负载放电。在 $t = 4.2$ 小时时（A 点），当 VBAT_SEC 降至 3.45V 时，负载切换到一次电池。在 $t = 5.5$ 小时时（B 点），电池以大约 65mA 的电流充电。在 $t = 17$ 小时时（C 点），VBAT_SEC 为 4.18V，达到其总充电容量的 65%。在 $t = 25$ 小时时（D 点），电池充满电。从 B 点到 D 点的总充电时间约为 19.5 小时。假设一天中的峰值阳光照射时长约为 6 至 7 小时，则需要大约 3 天才能将电池充满电。在 $t = 25.6$ 小时时（E 点），电池以 100mA 的恒流负载放电。在 $t = 33.6$ 小时时（F 点），输出负载切换到了一次电池，因而得到备份时间为 8 小时。

如果以 1mA 负载外推此数据，由于在更轻的负载放电下电池阻抗更低，因此备份时间将至少为 $8 \times (100\text{mA}/1\text{mA}) = 800$ 小时（约 33 天）。

5.2 能量收集 — CT 输入

5.2.1 在 9mA CT 二次电流下启动

对于 TIDA-00807 设计，在此测试中，JP2 短接以便为 MCU 供电，TPS62740 (U10) 的负载开关应位于关闭位置。

1. 在 J3 和 J4 处将 CT-AC1020（三个一次线匝）二次侧连接到基于 CT 的能量收集子系统。
2. 按表 10 中所示将基于 CT 的能量收集子系统连接到 TIDA-00998 和 TIDA-00807 板。

表 10. 测试设置硬件连接

板	自	至
AC1020	二次侧	J3、J4
TIDA-00807	J5-1	J7 (VOUT)
	J5-2	J8 (GND)
TIDA-00998	J2-2	J7 (VOUT)
	J5-2	J8 (GND)

3. 在 CT 一次侧使用 PTS3.3C 施加 5A 50Hz RMS 电流。
4. 测量 V_{OUT} （基于 CT 的能量收集子系统）、 V_{in+} （基于 CT 的能量收集子系统）和 TEST_SEL (TIDA-00807)。

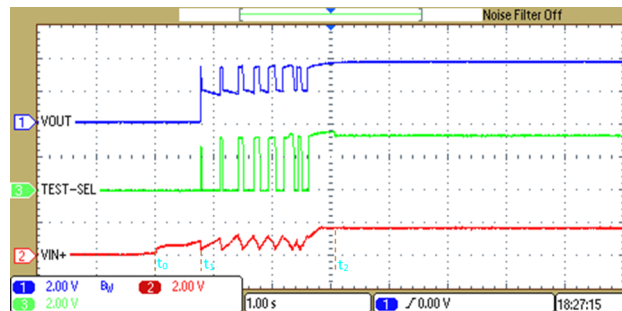


图 24. MCU (TIDA-00807) 在 9mA CT 二次电流下唤醒

在时间 $t_0 = 0$ 秒时，CT 通电。如节 3.4.1 所述， V_{in+} 中的电压通过并联稳压器调节到 2.5V。在时间 $t_1 = 0.8$ 秒时， V_{in+} 的电压达到 0.9V，从而开启 TPS61021（具有 0.5V 超低输入电压的升压转换器），后者将 V_{in+} 升压到 3.6V。从时间 t_1 到 t_2 ，（TIDA-00807 设计的）MCU 和 TPS61021 开启和关闭，之后在时间 $t_2 = 3.05$ 秒时稳定。

5.2.2 基于 CT 的能量收集子系统 — 超级电容器充电和放电

如 3.4 节所述，基于 CT 的能量收集子系统用于利用 CT 收集能量。CT 二次侧连接到 J3 和 J4 连接器。并联稳压器将超级电容器电压调节到 2.5V。启动时，当 C3 (Vin+) 电压达到 0.9V 时，TPS61021 开始升压操作并将输出电压 (V_{OUT}) 升压到 3.6V。

根据 公式 13 至 公式 17 可知，10F 的超级电容器可支持 700 μ A 的负载并持续 1.8 小时。在 700 μ A 负载和 3.6V 电压下的实际测试中，我们得到了 1.7 小时的备份时间。估算值与实际值之间的差异是由于电容器的泄漏电流和 ESR 变化所致。

5.2.3 电源多路复用器自动切换操作

要测试电源多路复用器自动切换操作，请执行以下操作：

1. 在 VBAT_PRI 处施加 3.6V 直流电。
2. 在 VIN_CT 处连接一个外部直流源并将电压从 0V 变为 4.2V，反之亦然。
3. 验证 VBAT_PRI、VIN_CT、VOUT_PMUX 和 STAT 引脚电压。

当 CT 输入降至 3.44V 时，电源多路复用器切换到一次电池，并在 3.6V 时切换回 CT 输入。当从一次电池馈送输出时，STAT 引脚变为高电平。

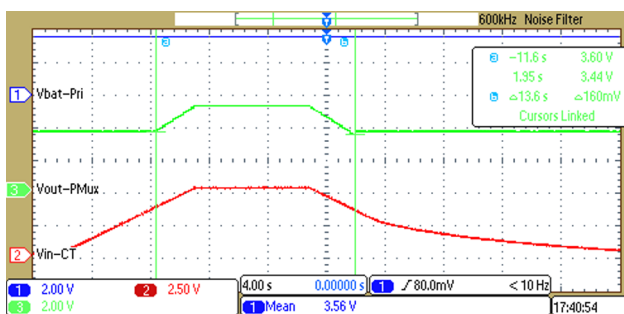


图 25. 电源多路复用器自动切换操作

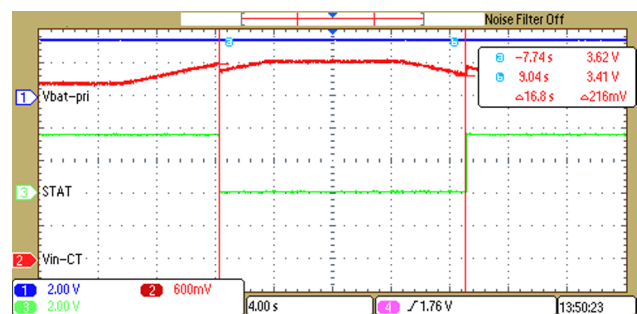


图 26. STAT 引脚验证

5.3 故障指示

5.3.1 由 3.6V 电池供电时的 LP55231 效率

要测试 LP55231 效率，请执行以下操作：

1. 参见 节 4.1.1 至 节 4.1.3，将 LaunchPad 连接到 TIDA-00998 板。
2. 使用外部直流电源在 VIN_DRIVER 处施加 3.3V 直流电。
3. 按照 节 4.2.2 中的步骤，启用 LP55231（有关使用 UART 实施 LP55231 控制的内容，请参见 节 4.2.6）的 D1、D3 和 D5 通道输出并将 LED 电流设置为 20mA。
4. 记录输入电压、电流和 LED 正向电压和电流。
5. 分别在 3.6V、4V 和 4.2V 输入电压下重复步骤 1 至 4。
6. 重复步骤 1 至 5，仅限启用 D7、D8 和 D9 通道。

表 11. 使用 VAOL-S2WR4 白光 LED 时的 LP55231 效率（启用 D1、D3、D5）

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	20	19.866	59.690	3.3	3.113	94.19%
2	20	19.947	59.954	3.6	3.113	86.31%
3	20	19.992	60.191	4.0	3.113	77.55%
4	20	20.017	60.306	4.2	3.113	73.81%

表 12. 使用 HSMZ-A400-V39M1 红光 LED 时的 LP55231 效率（启用 D1、D3、D5）

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	20	19.926	60.868	3.0	2.271	0.7434%
2	20	19.974	61.052	3.3	2.249	0.6689%
3	20	20.015	61.234	3.6	2.249	0.6126%
4	20	20.069	61.470	4.0	2.253	0.5517%
5	20	20.093	61.590	4.2	2.256	0.5257%

表 13. 使用 LNJ8L6C18RA 红光 LED 时的 LP55231 效率（启用 D7、D8、D9）

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	20	19.889	60.817	3.3	2.038	0.6059%
2	20	19.934	60.980	3.6	2.038	0.5552%
3	20	19.985	61.186	4.0	2.038	0.4992%
4	20	20.011	61.287	4.2	2.038	0.4753%

5.3.2 由 3.6V 电池供电 + TPS62740 (调节到 3V) 时的 LP55231 效率

要测试 LP55231 + TPS62740 效率, 请执行以下操作:

1. 取下 R49 和 R50。使用 0Ω 的电阻填充 R53 和 R54, 以将 TIDA-00807 设计中的 TPS62740 (U10) 输出配置为 3V。
2. 将 TIDA-00807 的 V_{CC} (J1 连接器的引脚 1) 连接到 TIDA-00998 中的 VIN_DRIVER (J2 连接器的引脚 2)。
3. 在 TIDA-00807 的 J5 引脚 1 处使用外部电源施加 3.3V 电压。
4. 按照 节 4.2.2 中的步骤, 启用 LP55231 (有关使用 UART 实施 LP55231 控制的内容, 请参见 节 4.2.6) 的 D1、D3 和 D5 通道输出并将 LED 电流设置为 20mA。
5. 记录输入电压、电流和 LED 正向电压和电流。
6. 分别在 3.6V、4V 和 4.2V 输入电压下重复步骤 1 至 5。

表 14. 使用 HSMZ-A400-V39M1 红光 LED + TPS62740 时的 LP55231 效率 (启用 D1、D3、D5)

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	20	19.918	61.873	3.3	2.249	0.6582%
2	20	19.918	56.532	3.6	2.249	0.6603%
3	20	19.918	52.326	4.0	2.249	0.6421%
4	20	19.918	50.386	4.2	2.249	0.6350%

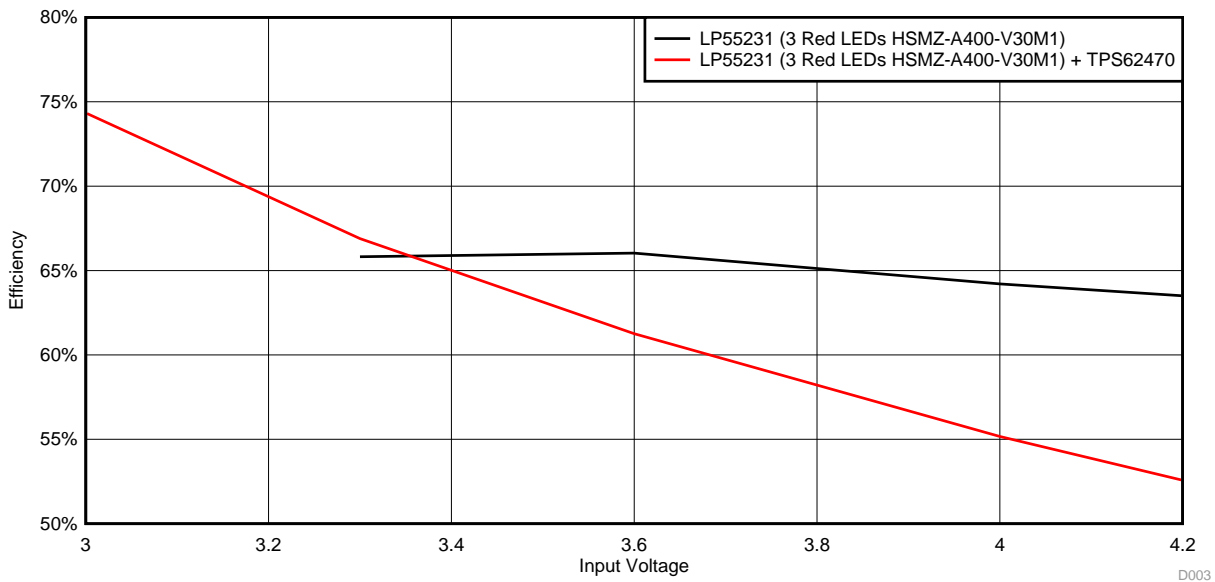


图 27. LP55231 + TPS62740 效率

根据电池电量水平, 可再充电电池的电压在 3.3V 到 4.2V 范围内变化。在较高输入电压下, LP55231 的效率会降低。为了提高效率, LP22331 由 TIDA-00807 设计中的降压转换器 TPS62070 供电, 该转换器可将输出电压调节到 3V。在 4.2V 输入电压下, LP55231 + TPS62740 的效率提高了 10.9%, 然后直接从 bq25505 输出驱动 LP55231。

5.3.3 由 3.6V 电池供电时的 LM3509 效率

要测试 LM3509 效率，请执行以下操作：

1. 按照 节 4.1.1 到 节 4.1.3 中的步骤，将 LaunchPad 连接到 TIDA-00998 板。
2. 使用外部直流电源在 VIN_DRIVER 处施加 3.3V 直流电。
3. 按照 节 4.2.3 中的步骤，启用 LM3509（有关使用 UART 实施 LM3509 控制的内容，请参见 节 4.2.6）的 MAIN/SUB 通道输出并将 LED 电流设置为 30mA。在 TIDA-00807 的 J5 引脚 1 处使用外部电源施加 3.3V 电压。
4. 记录输入电压、电流和输出电压和电流
5. 记录输入电压、电流和 LED 正向电压和电流。
6. 分别在 3.6V、4V 和 4.2V 输入电压下重复步骤 1 至 4。

表 15. 仅启用 MAIN 通道时的 LM3509 效率

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	30	29.885	121.16	3.3	10.79	0.8065%
2	30	29.902	109.57	3.6	10.78	0.8172%
3	30	29.893	116.34	4.0	11.37	0.7304%
4	30	29.909	107.56	4.2	11.33	0.7501%

表 16. 仅启用 SUB 通道时的 LM3509 效率

序号	电流设置 (mA)	LED 实际电流 (mA)	输入电流 (mA)	输入电压 (V)	V_LED (V)	效率
1	30	29.765	120.730	3.3	10.79	0.8061%
2	30	29.776	109.110	3.6	10.78	0.8172%
3	30	29.770	115.670	4.0	11.36	0.7309%
4	30	29.779	106.876	4.2	11.31	0.7503%

5.3.4 LED 强度控制验证

在此测试中，我们将会改变环境光亮度以检查设置的 LED 驱动器电流是否符合 节 4.2.5 中的定义。当环境光强度低时，LED 电流最小以降低亮度。当环境光强度高时，LED 电流最大以提高亮度。

表 17. LED 强度控制验证

序号	LED 驱动器	说明	验证状态
1	LP55231	环境光: Lux < 50, LED 电流设置为 10mA	正常
2		环境光: 50 > Lux < 700, LED 电流设置为 15mA	正常
3		环境光: 50 > Lux > 700, LED 电流设置为 20mA	正常
4	LM3506	环境光: Lux < 50, LED 电流设置为 5mA	正常
5		环境光: 50 > Lux < 700, LED 电流设置为 15mA	正常
6		环境光: 50 > Lux > 700, LED 电流设置为 30mA	正常

6 设计文件

6.1 电路原理图

要下载原理图，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

6.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

6.3 布局图

要下载每种电路板的布局图，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

6.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

6.5 光绘文件

要下载光绘文件，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

6.6 装配图

要下载装配图，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

7 软件文件

要下载软件文件，请参见 [TIDA-00998](#) 的设计文件。

8 相关文档

1. HW Group, [Hercules 设置实用程序](#), UART 工具 (http://www.hw-group.com/products/hercules/index_en.html)

8.1 商标

LaunchPad, MSP430 are trademarks of Texas Instruments.
All other trademarks are the property of their respective owners.

9 关于作者

MURALI KRISHNA PACHIPULUSU 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向工业领域的参考设计解决方案。Murali 在工作中充分发挥了他在模拟和数字电源电子转换器设计方面的经验。Murali 拥有德里印度理工学院的技术硕士学位 (M.Tech)。

KALLIKUPPA MUNIYAPPA SREENIVASA 是德州仪器 (TI) 的系统架构师，负责开发面向工业领域的参考设计解决方案。Sreenivasa 在高速数字和模拟系统设计方面拥有丰富经验。Sreenivasa 拥有印度迈索尔韦斯科技大学电子与通信工程 (BE-E&C) 工程学士学位 (BE)。

AMIT KUMBASI 是达拉斯德州仪器 (TI) 的系统架构师，负责开发适用于工业系统电网基础设施的子系统解决方案。Amit 在工作中充分发挥了他在使用精密模拟和混合信号器件进行产品定义、业务开发和板级设计方面的经验。他拥有 ECE 硕士学位 (德克萨斯理工大学) 和 MBA 学位 (亚利桑那大学)。可以通过 amit-kg@ti.com 与他联系。

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from Original (April 2017) to A Revision	Page
• 已更改 图 3	11

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默认的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司