

*Application Note*

# 测量开关模式电池充电器的效率



Mike Emanuel

## 摘要

对于具有较高充电电流的电池充电器，通常选择开关模式电池充电器。这是因为开关模式充电器的效率比线性充电器更高，线性充电器会将输入中不需要的能量以热量的形式耗散掉。准确测量效率对于评估所选电池充电器至关重要，因为测量错误会导致观察到的性能降低。在开发新电池充电器原型设计时，需要精心设计印刷电路板 (PCB) 来收集所需测量值。

## 内容

1 引言	2
2 如何正确测量效率	2
3 效率测量错误的影响	2
4 测量降压充电器的效率	3
5 测量开关电容充电器的效率	4
6 总结	5
7 参考资料	5

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

在从一个点到另一个点的任何给定传导路径中，都存在电阻。在电池充电器中，可能存在的电阻通常包括从墙壁适配器到设备之间的电缆电阻、接触电阻和电池充电器的布线电阻。连接电池后，还有从电池充电器到电池连接器的传导路径，甚至可能还有连接到电池的电缆路径。此电阻对测量有何影响？

假设电池通过适配器充电，而在适配器上测量的输入电压和在电池上测量的电池电压不同于充电器集成电路 (IC) 输入电压和电池电压。这是由于进出 IC 的缆线和布线中存在电阻损耗。更具体地说，IC 输入电压低于适配器电压，IC 电池电压高于在端子处测得的电池电压。在这两种错误的测量中，任意一种或两种都会导致效率降低。有关 BQ25960H 的示例效率曲线，请参见图 1-1。

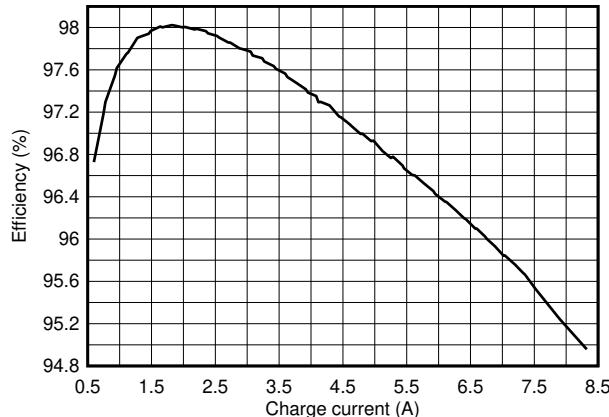


图 1-1. BQ25960H 电池充电效率与充电电流间的关系，每相  $2 \times 22\mu\text{F}$  CFLY， $\text{VBAT} = 4.0\text{V}$ ， $\text{FSW} = 500\text{kHz}$

## 2 如何正确测量效率

首先，用户需要知道如何计算电池充电器的效率。在本示例中，假设没有系统负载，且电池充电器的唯一输出就是给电池充电。通过使输出功率除以输入功率，即可衡量效率。对于电池充电器，效率为电池电压乘以电池电流，再除以输入电压和输入电流，见 [方程式 1](#)。

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{bat}} \times I_{\text{bat}}}{V_{\text{in}} \times I_{\text{in}}} \quad (1)$$

无论是电池应用还是其他情况，在高电流路径中测量任何电压的最佳方法都是通过开尔文检测点来测量。开尔文检测点是延伸至测量点的细布线，直接连接到 IC 上与所需电压相对应的引脚。该布线不能位于待测电压的传导路径中，还需要尽量窄，并且除了在 IC 处，或尽可能靠近 IC 的地方之外，不应与高电流路径接触。请勿将开尔文检测路径用作所传输电源的主电源路径，因为该布线不是为传输的电流而设计。通常，不得使用充电器 IC 的 ADC 来计算充电器的效率。

在测量效率时要记住的另一个问题是如何测量电流。可以通过两种方法来测量电流：使用检测电阻，或使用数字源表或等效设备直接测量电流。这两者之间各有利弊，但最好的方法是使用数字源表。使用检测电阻时，需要仔细校准才能获得准确的结果。对于多个印刷电路板 (PCB)，不同电阻器的校准会有不同。此外，使用一个误差即使只有  $1\text{mV}$  的万用表，也可能对效率产生巨大影响。数字源表只需校准一次，无需执行额外步骤，即可处理多个 PCB。

## 3 效率测量错误的影响

以下一些示例说明了错误测量输入和输出电压会如何影响效率。如果施加到电池充电器的输入电流为  $2\text{A}$ ，但从适配器到电池充电器输入引脚的电阻为  $100\text{m}\Omega$ ，那么这会有什么影响？根据欧姆定律，适配器到输入引脚的压降为  $200\text{mV}$ 。例如，假设效率为  $92\%$ 。如果输入引脚电压实际为  $5\text{V}$ ，适配器电压为  $5.2\text{V}$ ，并且电池以  $4\text{V}/2.3\text{A}$  充电，则使用  $5.2\text{V}$  适配器电压时记录的效率约为  $88.5\%$ ，如 [方程式 2](#) 所示。这对器件的热性能评估有着巨大的影响。其次，还是这个例子 ( $92\%$  效率， $5\text{V}/2\text{A}$  输入， $4\text{V}/2.3\text{A}$  电池)，但现在在电池端子处测量出的电池电压为  $3.8\text{V}$ 。这表示出现  $87\text{m}\Omega$  的下降，使得计算出的效率为  $87.4\%$ ，如 [方程式 3](#) 所示。

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{4.0V \times 2.30A}{5.2V \times 2.0A} = 88.5\% \quad (2)$$

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{3.8V \times 2.30A}{5.0V \times 2.00A} = 87.4\% \quad (3)$$

在这两种情况下，适配器或电池端子存在一个错误的 200mV 测量偏移，这会使效率降低 3% 以上。必须小心谨慎地准确测量效率，这样才能确认电池充电器的性能。

在检测电阻器电压测量中出现明显的数字偏差错误会对效率产生很大影响，如[节 2](#) 中所述。使用与之前相同的示例（92% 效率、5V/2A 输入、4V/2.3A 电池），但现在电池电流路径中有一个 10mΩ 的检测电阻器。对于 2.3A 充电电流，电池电流的正确检测电压为 23mV，如[方程式 4](#) 所示。但是，检测电压中仅 1mV 的偏差就会导致观察到的电流变为 2.2A，如[方程式 5](#) 所示。这会导致观察到的效率下降至 88.0%，如[方程式 6](#) 所示。电压测量中仅 1mV 的偏差就会导致电流测量出现超过 10% 的误差，效率下降 4%。

$$\text{Sense Current} = \frac{V_{\text{sense}}}{R_{\text{sense}}} = \frac{0.023V}{10m\Omega} = 2.3 A \quad (4)$$

$$\text{Sense Current} = \frac{V_{\text{sense}}}{R_{\text{sense}}} = \frac{0.022V}{10m\Omega} = 2.2 A \quad (5)$$

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{4.00V \times 2.20A}{5.00V \times 2.00A} = 88.0\% \quad (6)$$

## 4 测量降压充电器的效率

降压电池充电器的输入电压大于施加的电池电压。在降压充电器中，电感器位于开关转换器的输出端，由于采用窄电压直流架构 (NVDC)，电池连接有时会处于比系统连接更下游的位置。因此，要测量充电效率，用户需要测量输入电压的开尔文检测、输入电流、电池电压的开尔文检测和电池电流。请注意，因为排除了 BATFET 的导通电阻，在使用系统电压的开尔文检测来测量 NVDC 充电器中的系统效率时，会得出稍高的效率值。

以 BQ25638EVM 为例，它是降压充电器 EVM。TP10 标记输入电压的开尔文检测，即 VBUS。TP13 标记电池电压的开尔文检测，即 VBAT。虽然输入电源通过 J1 进行物理连接，电池模拟器通过 J4 进行物理连接，但在效率测量时，输入电压必须在 TP10 测量，电池电压必须在 TP13 测量。有关如何为 BQ25638EVM 连接电源、电池模拟器、输入电压测量和电池电压测量的示例，请参见[图 4-1](#)。

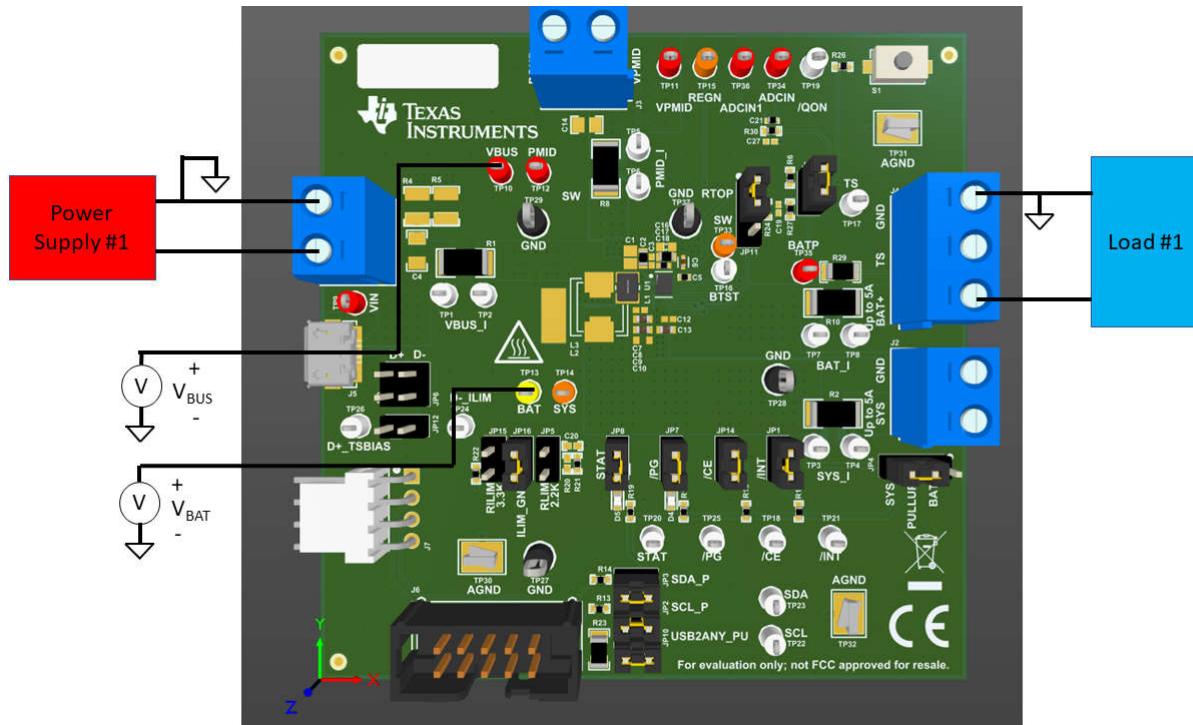


图 4-1. BQ25638EVM 效率测量设置

## 5 测量开关电容充电器的效率

开关电容充电器的输入电压与输出电压的比值必须保持在一定范围内，以保证转换器正常工作。在 2:1 开关电容充电器中，输入电压始终略高于电池电压的 2 倍。对于开关电容充电器或无电感器的充电器，因为输出不进行稳压，所以通常没有系统轨。开关电容充电器以开环方式运行，完全取决于施加的输入电压、施加的电池电压、电源和转换器之间的电阻以及转换器和电池仿真器之间的电阻。但是，与降压充电器一样，除了要测量的输入和输出电流之外，还需要测量输入电压和输出电压的开尔文检测。由于开关电容充电器具有较高的输出电流，它们在效率准确性方面的问题更为显著。BQ25960H 可以在单个充电器的情况下提供高达 8A 的电流，并且从转换器的输出到 EVM 或电池边缘可能会有明显的电压降。因此，为了测量转换器的输出电压来准确表明开关电容充电器的效率，这一点至关重要。

以 BQ25960HEVM 为例，它是开关电容充电器 EVM。BQ25960H 是一款 2:1 开关电容充电器，这意味着输入电压是输出电压的两倍。TP2 标记输入电压的开尔文检测，即 VBUS\_M。TP5 标记输出电压的开尔文检测，即 VOUT\_M。虽然输入电源通过 J1 进行物理连接，电池模拟器通过 J2 进行物理连接，但在效率测量时，输入电压必须在 TP2 测量，输出电压必须在 TP5 测量。有关如何为 BQ25960HEVM 连接电源、电池模拟器、输入电压测量和输出电压测量的示例，请参见图 5-1。

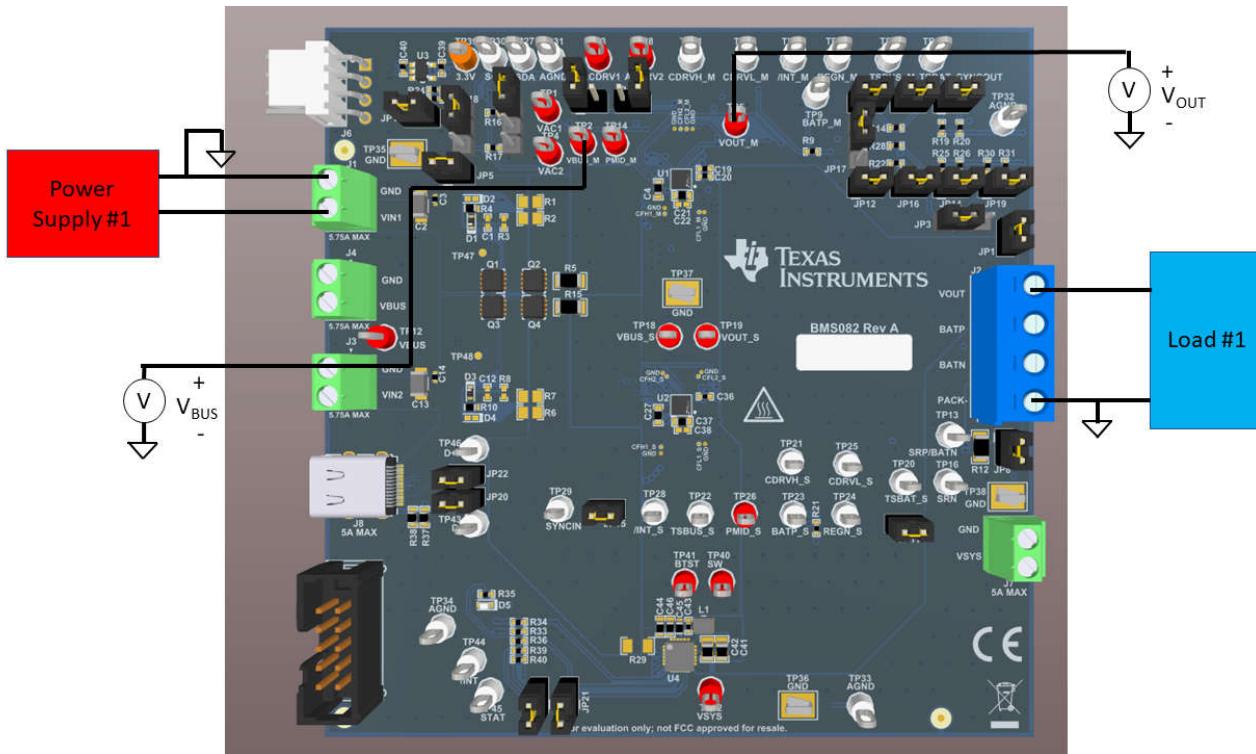


图 5-1. BQ25960HEVM 效率测量设置

## 6 总结

为了准确测量这些充电器的效率，需要仔细测量降压充电器和开关电容充电器的输入电压和输出电压。测量适配器端子上的输入电压和电池端子上的输出电压会导致电池充电器的效率测量值降低。为了正确执行这些测量，需要通过开尔文检测来检测这些电压。

## 7 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [BQ25960H 具有集成旁路模式和双输入选择器的 I2C 控制型单节 8A 开关电容并联电池充电器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI) , [BQ25638x 评估模块用户指南 \(修订版 A\)](#)
- 德州仪器 (TI) , [BQ25960HEVM \(BMS082\) 评估模块用户指南](#)

## 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出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 © 2024, 德州仪器 (TI) 公司