

Application Note

如何为电池供电终端设备实现运输模式



Jeff Falin, Kristina Gundal

摘要

本应用手册介绍了一种运输模式实现方案，该方案可以将电池与任何 TI 电池充电器及其系统负载完全连接或断开。文中阐述了电路工作原理和关键 MOSFET 选型标准，并演示了如何使用内置、外置或无电池 FET 架构来实现设计。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	2
2.1 电路运行.....	2
2.2 MOSFET 选型注意事项.....	2
2.3 测试结果.....	3
3 总结.....	3
4 参考资料.....	4

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

运输模式有时也称为储运模式，是许多电子设备中搭载的一种设置，尤其适用于设备运输、仓储及长时间闲置等场景。启用运输模式的目的是最大限度减少电池耗电，防止电池在闲置状态下损坏。若要实现此效果，必须将电池与电池充电器和系统负载进行电气隔离。此过程可大幅减少流入电池充电器和下游电路的静态电流，从而留存电池电量，直到器件准备投入使用。

2 详细说明

2.1 电路运行

图 2-1 中的方框图展示了运输模式的实现方案。

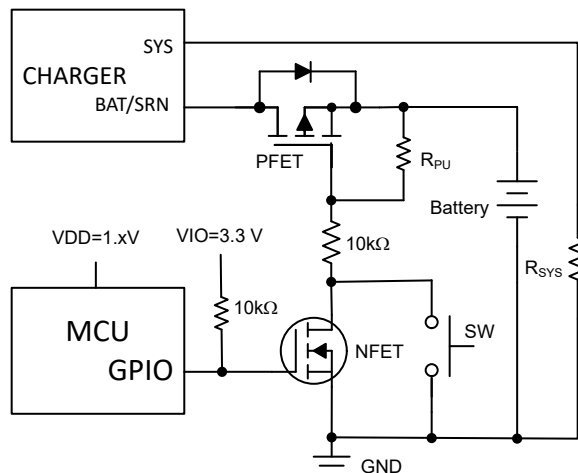


图 2-1. 分立式运输模式电路方框图

此电路使用低 $R_{DS(ON)}$ P 沟道 MOSFET (PFET) 以及连接到微控制器或处理器 (MCU) 通用输入/输出 (GPIO) 的低成本 N 沟道 MOSFET (NFET)，以此控制 PFET 的栅极电压。图中的 MCU 配置为开漏 GPIO，需搭配 3.3V 上拉电压。MCU 的 VDD 与 GPIO 引脚由低静态电流线性稳压器 (如 TPS7A02) 供电，该稳压器直接连接到电池。

PFET 用作主电池切断开关。当 PFET 导通时，电流从电池流向充电器的 BAT/SRN 引脚和系统负载，设备可正常工作。此时，器件未进入运输模式。当 PFET 关断时，电池与电池充电器和系统实现电气隔离，从而使器件进入运输模式。GPIO 引脚不可直接连接到 PFET 栅极引脚，防止 GPIO 承受完整的电池电压。因此，需要搭配低成本 NFET (例如 2N7002) 来提供电平 (和逻辑) 转换。GPIO 控制 NFET 的栅源电压 (V_{GS})。当 GPIO 引脚将 NFET 的栅极引脚电压拉高 3.3V 时，PFET 的栅极引脚会同步接地，使 PFET 导通。PFET 栅极被拉低后，电流即可从电池流向充电器和系统负载。当栅极电压下拉至 GND 时，NFET 将关断。PFET 的栅极引脚电压上拉至电池电压，与 PFET 源极引脚上的电压相等，实现电池与充电器和系统负载电气断开，并将终端设备置于运输模式。在 NFET 漏极引脚和 PFET 栅极引脚之间串联 10k 电阻器，作用是减慢 PFET 的导通速度，从而抑制充电器 BAT 或 SRN 引脚上的电压振铃。可选用机械开关来替代或补充由 GPIO 控制的 NFET 系统。

由于运输模式电路位于电池和电池充电器 IC 之间，因此器件可与采用内置/内置 BATFET (即 NVDC 充电器) 或无 BATFET 的电池充电器搭配使用。

2.2 MOSFET 选型注意事项

选用合适的 MOSFET，对于运输模式可靠运行、尽可能减少电池漏电及实现电路保护至关重要。MOSFET 选型必须综合考量系统电压、负载电流、栅极驱动电压、导通电阻、泄漏电流和散热要求。PFET 选型关键点如下：

1. 漏源电压 V_{DS} 的额定值高于最大电池电压。
2. 连续漏极电流 I_{DS} 额定值大于最大充电电流与最大系统负载电流之和
3. 低电阻 $R_{DS(ON)}$ 需小于充电器 BATFET (若存在) 的电阻，最大限度降低对充电效率的影响 (通常小于 20mΩ)
4. I_{GSS} (栅极泄漏电流) 需足够小，保证高值上拉电阻 (R_{PU}) 上由 $I_{GSS} \times R_{PU}$ 产生的压降小于 PFET 的导通电压 V_{GS-TH}

如果 PFET 的 I_{GSS} 很低，则 R_{PU} 可选用兆欧级的电阻，从而最大限度减小电池放电损耗。由于 NFET 的 $10k\Omega$ 漏极电阻可最大限度抑制 PFET 导通时的电压振铃， R_{PU} 也必须足够大，以便 $10k\Omega$ 和 R_{PU} 构成的分压器将 PFET 栅极电压设为远低于电池电压减去 PFET 的 V_{GS-TH} 的值

2.3 测试结果

图 2-2 中的波形显示了系统进入和退出运输模式。

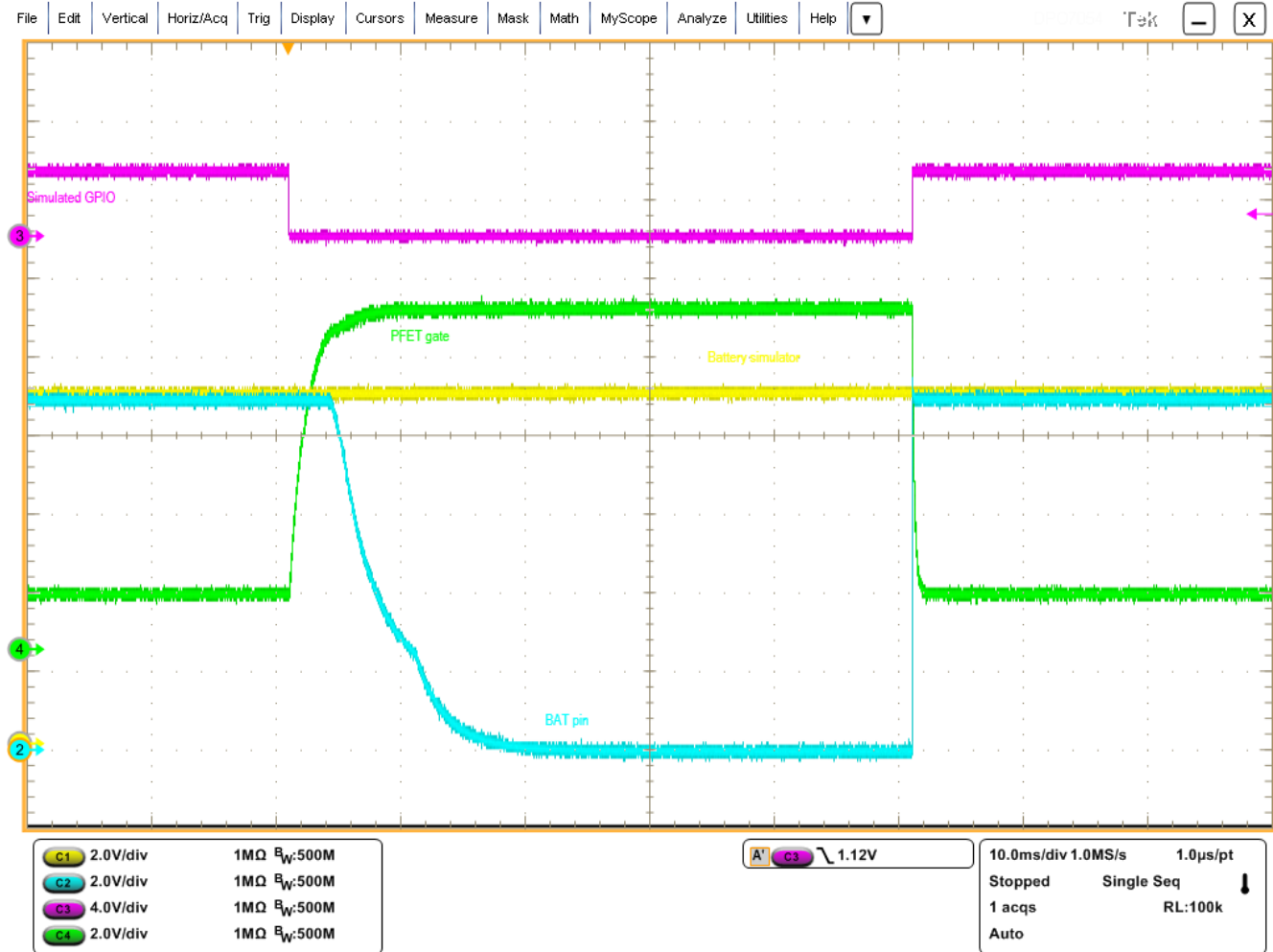


图 2-2. PFET 进入和退出运输模式

PFET 是 TI 的 CSD2540Q3。 R_{PU} 为 $5M\Omega$ ，而 R_{SYS} 则为 500Ω 。通道 1（黄色波形）显示仿真电池输出电压。通道 2（蓝色波形）显示 BQ25790EVM BAT 引脚的电压。通道 3（粉色波形）显示来自函数信号发生器的仿真 MCU GPIO。通道 4（绿色波形）显示 PFET 栅极电压。由波形图可见，当仿真 GPIO 输出降至 $0V$ 时，PFET 栅极电压被拉高，从而激活运输模式。这可通过查看通道 2 确认：PFET 栅极电压升高时，BQ25790 BAT 引脚电压随之降低。最后，当 GPIO 重新上升至初始状态时，我们观察到 PFET 重新导通，将仿真电池重新连接到充电器 BAT 引脚。

3 总结

本应用手册提供了一种运输模式设计，该设计以电气方式将电池与电池充电器和系统负载隔离，防止产品在仓储和运输期间出现电量损失。该设计适配搭载内置、外置乃至无 BATFET 的各类系统，是理想方案。最后，仔细选择适配的 P 沟道 MOSFET 至关重要，因为它直接影响电子电路的性能、能效和可靠性。

4 参考资料

1. BQ25790 I2C 控制、1-4 节电池、5A 升压模式电池充电器，具备双输入，数据表
2. BQ25690 独立式/I2C 控制、1-7 节锂离子电池、3A 降压/升压双向电池充电器，具备旁路模式，数据表（修订版 A）
3. CSD25404Q3 -20V P 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET，数据表

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、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