



Zack Liu, Michelle Zhao

摘要

TPS61022 是一款同步升压转换器，具有 0.5V 至 5.5V 的宽输入电压范围，支持超级电容器备用电源应用，因为它能够对超级电容器深度放电。本应用报告介绍了如何选择和设计 TPS61022 外部元件。测量稳定和瞬态性能以显示转换器的行为。

内容

1 引言.....	2
2 拟定的电路原则.....	3
3 环路稳定性、前馈电容器选择.....	4
4 原理图和基准测试结果.....	6
4.1 原理图.....	6
4.2 基准测试结果.....	7
5 总结.....	8
6 参考文献.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

智能电表必须能够在短暂断电期间继续运行，并通过无线电发送通知消息，这会消耗大量能量。单节电池超级电容器的输出电压不高于 2.7V，因此需要使用升压转换器将输出电压升压，从而为 GSM/GPRS 模块或 MCU 供电。GSM/GPRS 模块电压通常高于 3.6V。低输入电压升压转换器可以充分利用超级电容器的能量，延长备用电源时间。

TPS61022 可以为由各种电池和超级电容器供电的便携式设备和物联网设备提供电源解决方案。在整个温度范围内，TPS61022 谷值开关电流限值的最小值为 6.5A。在 0.5V 至 5.5V 的宽输入电压范围内，TPS61022 支持超级电容器备用电源应用，这可能导致超级电容器深度放电。

图 1-1 是 TPS61022EVM 用户指南中的原理图，专为 3.0V 至 4.2V 锂离子电池输入、5V 输出电源应用而设计。但是，对于低 V_{IN} (0.5V 至 2.7V) 超级电容器备用电源应用，需要额外的前馈电容器和大输出电容来增加相位裕度，从而使环路保持稳定。

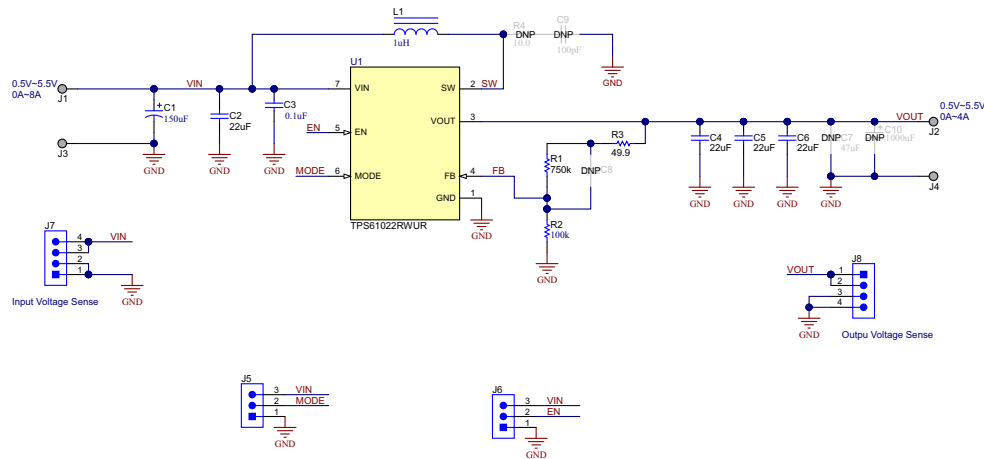


图 1-1. TPS61022 EVM 原理图

本应用报告介绍了如何选择适用于超级电容器备用电源应用的 TPS61022 外部元件。所提供的详细计算方法和基准测试结果可用于验证拟定的电路。

2 拟定的电路原则

图 2-1 显示了超级电容器备用电源系统中 TPS61022 升压转换器电路的理论电路。 V_{sys} 是短暂的电源，来自其他直流/直流转换器或电网。TPS61022 有一个 MODE 引脚来设置运行模式。如果此模式处于逻辑高电平状态，器件将在强制脉宽调制 (PWM) 模式下运行。在强制 PWM 模式下，无论负载如何，器件都会以 1MHz ($V_{IN} > 1.5V$) 和 600kHz ($V_{IN} < 1.0V$) 的频率持续切换。这会导致在轻负载条件下效率非常低。通过将 MODE 引脚设置为逻辑高电平，可能会有来自 V_{OUT} 的反向电流为超级电容器充电 (如果 V_{sys} 的电压高于 TPS61022 设置的输出电压)。通过使用以下配置，当 MODE 连接到逻辑低电压时，器件会在自动 PFM 模式下工作，并且没有从 V_{OUT} 到 V_{IN} 的反向电流：

- 建议用户将 MODE 引脚连接到 GND，以设置器件在自动 PFM 模式下工作。轻载时的效率提高了，并延长了超级电容器的总放电时间。
- 将 TPS61022 V_{OUT} 设为比 V_{sys} 低 3-5%。当存在 V_{sys} 时，该器件不会进行切换。
- EN 引脚连接到 V_{IN} 以使器件保持使能状态。TPS61022 器件消耗的静态电流非常小 (V_{IN} 引脚为 $3.0\mu A$ ， V_{OUT} 引脚为 $32\mu A$)。

当出现短暂的电源 V_{sys} 断电并降至低于 TPS61022 编程的输出电压 V_{OUT} 时，TPS61022 开始开关并将 V_{OUT} 保持在编程的输出电压电平。

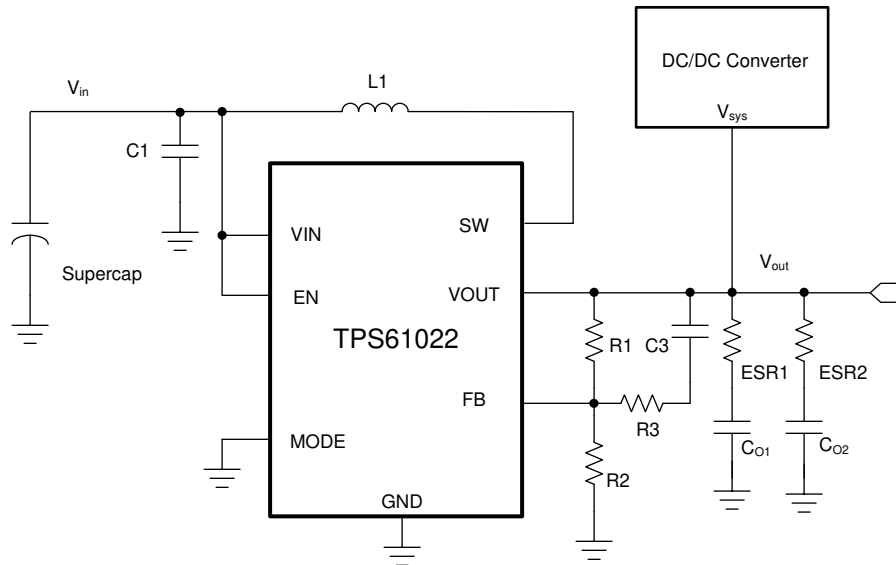


图 2-1. 超级电容器备用电源应用中的升压转换器 TPS61022

3 环路稳定性、前馈电容器选择

为了充分利用超级电容器能量并延长备用电源时间，可以使用 TPS61022 器件进行调节，直到超级电容器电压放电低至 0.5V。在低 $V_{IN} < 1.5V$ 的条件下，TI 建议在 TPS61022 输出端使用大输出电容来降低交叉频率，因为右半平面零点 (RHPZ) 频率随着 V_{IN} 的降低而降低。

$$f_{RHPZ} = \frac{R_{out} \times (1 - D)^2}{2\pi \times L} \quad (1)$$

其中

- R_{out} = 输出负载电阻器
- D = 占空比
- L = 电感

例如，在 $V_{IN} = 0.7V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $I_{OUT} = 0.8A$ 、 $L = 1 \mu H$ 、 $f_{RHPZ} = 29.5kHz$ 时。通常，环路增益交叉点不高于开关频率 f_{SW} 的 1/10 或 RHPZ 频率 f_{RHPZ} 的 1/5 (以较低者为准)。

TPS61022 计算工具通过输入之前列出的参数，可帮助计算具有 30 μF 有效输出电容的环路波特图。图 3-1 展示了交叉频率为 6.2kHz，相位裕度仅为 34.5°，这会导致环路不稳定问题。

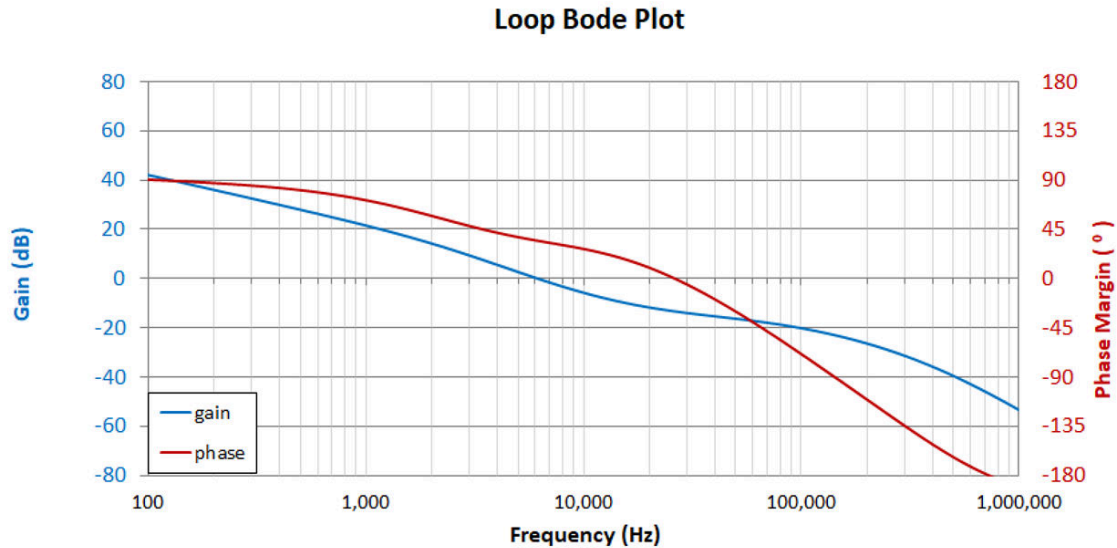


图 3-1. $V_{IN} = 0.7V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $I_{OUT} = 0.8A$ 、 $C_{OUT} = 30\mu F$ 条件下的波特图

因此，较大输出电容可以降低交叉频率，以将环路交叉频率 f_c 设置为低于 RHPZ 频率的 1/5。同时，前馈电容器 (图 2-1 中的 C3) 和与上部反馈电阻器 R1 并联的电阻器 R3 在环路传递函数中引入了一对零点 f_{FFZ} 和极点 f_{ZZP} 。通过设置适当的零点频率 f_{FFZ} ，前馈电容器可以增加相位裕度以提高环路稳定性。极点 f_{ZZP} 可以按公式 2 和公式 3 调整 R3 电阻，以增加相位裕度。

$$f_{FFZ} = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_3)C_2} \quad (2)$$

$$f_{FFP} = \frac{1}{2\pi(R_1 // R_2 + R_3)C_2} \quad (3)$$

因此，输出电容器的 ESR 会产生零点频率：

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi \times R_{ESR} \times C_{out}} \quad (4)$$

大 ESR 会将小的零点 f_{ESR} 引入环路中。结合前馈电容器零点 f_{FFZ} ，交叉频率 f_c 会增加到非常高，而相位裕度不够大。因此，建议在 TPS61022 输出端放置一个低 ESR ($< 50m\Omega$) 100 μ F 铝电解电容器或铝聚合物电容器。TI 建议将零点频率 f_{FFZ} 设为 2kHz。R3 默认设置为 2k Ω ，这有助于消除耦合到 FB 引脚的输出交流噪声。

4 原理图和基准测试结果

4.1 原理图

图 4-1 显示了典型超级电容器备用电源应用的原理图。

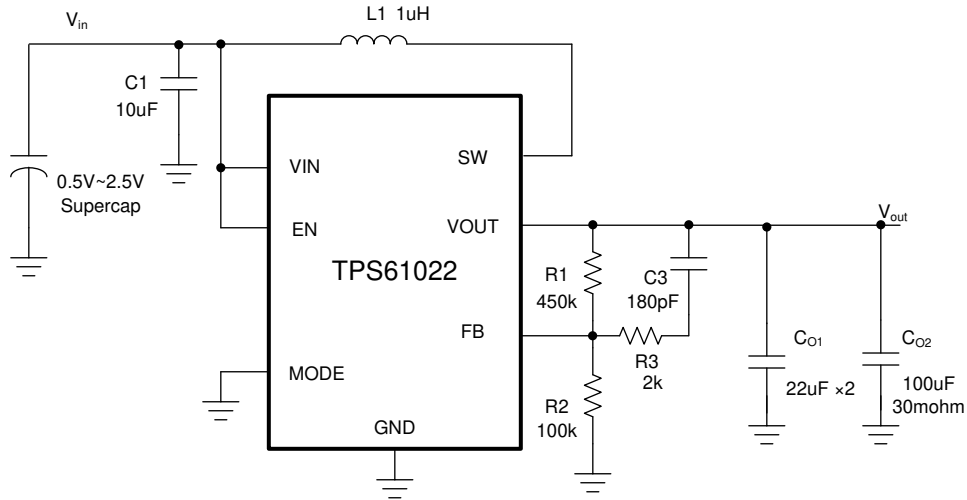


图 4-1. 包含前馈电容器的 TPS61022 电路

尽管使用了大型铝聚合物电容器 C_{O2} ，但也需要 1 到 2 个多层 X5R 或 X7R 低 ESR、 $22\mu\text{F}$ 陶瓷电容器，并且必须靠近 VOUT 引脚和 GND 引脚放置。

通过输入图 4-1 中所示的参数，TPS61022 计算工具会生成图 4-2 中所示的环路波特图 ($V_{IN} = 0.7\text{V}$)。交叉频率为 5.6kHz ，相位裕度为 67.8° ，增益裕度为 9.5dB 。

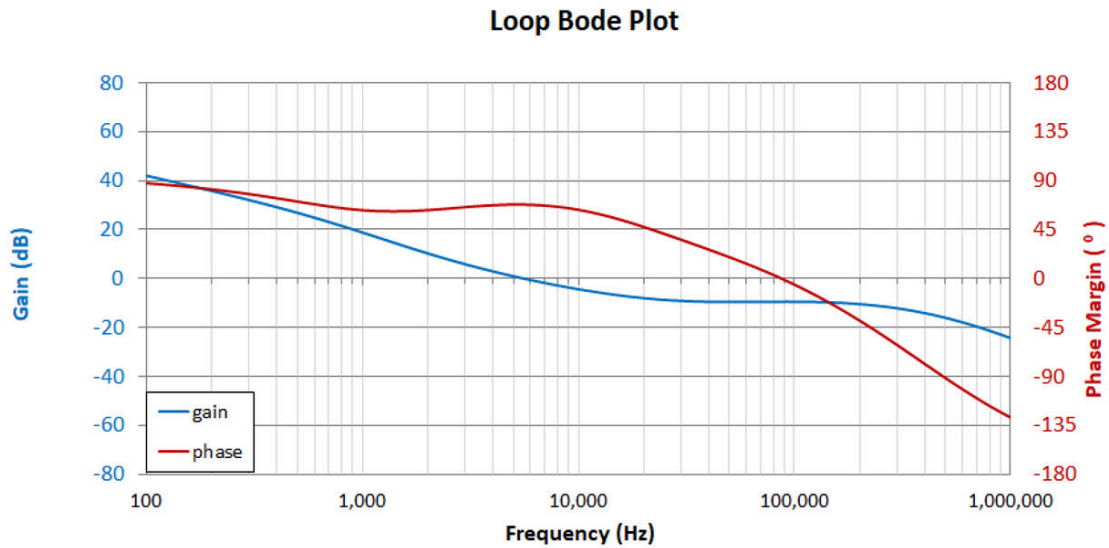


图 4-2. 具有推荐的外部元件的波特图

4.2 基准测试结果

图 4-3 显示了 $V_{IN} = 0.7V$ 、电流在 0.3A 到 0.6A 之间的负载瞬态波形。图 4-4 显示了 $V_{IN} = 1.5V$ 、电流在 0.3A 到 0.6A 之间的负载瞬态波形。

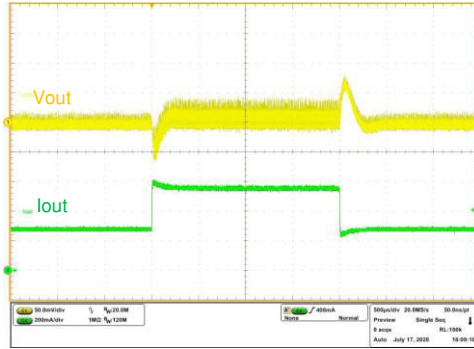


图 4-3. 负载瞬态 - $V_{IN} = 0.7V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 0.3A$ 至 $0.6A$

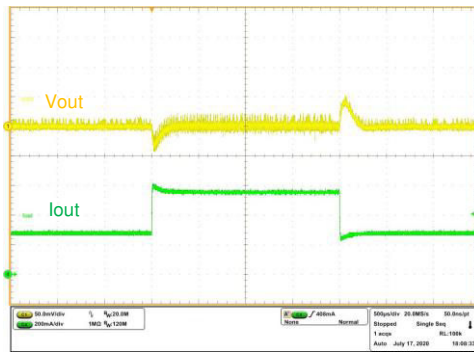


图 4-4. 负载瞬态 - $V_{IN} = 1.5V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 0.3A$ 至 $0.6A$

图 4-5 显示了 $V_{IN} = 0.7V$ 、 $I_{OUT} = 0.6A$ 时的波特图。图 4-6 显示了 $V_{IN} = 0.7V$ 、 $I_{OUT} = 0.6A$ 时的波特图。

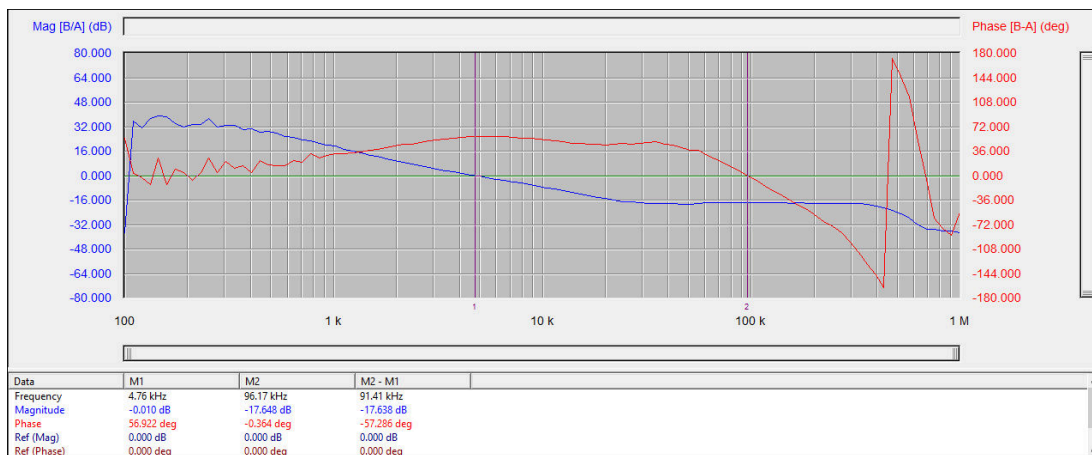


图 4-5. 波特图 - $V_{IN} = 0.7V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 0.6A$

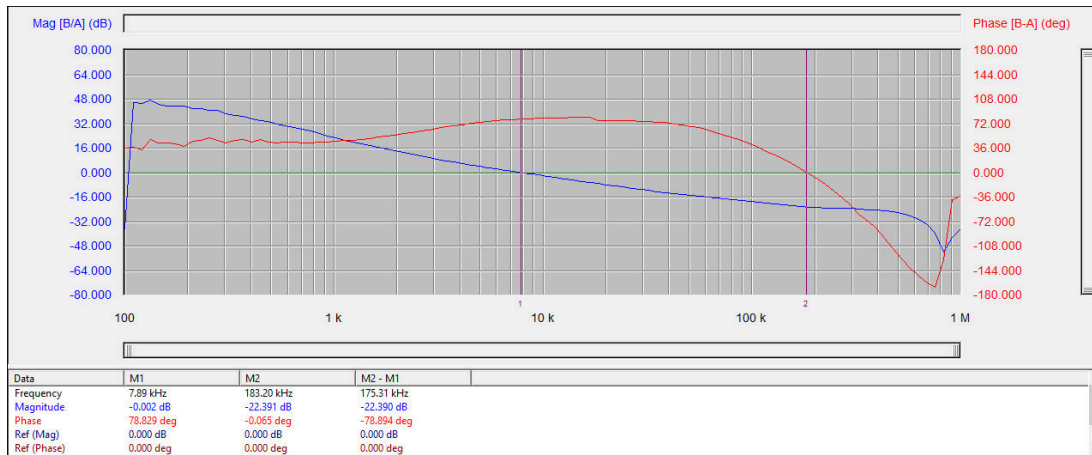


图 4-6. 波特图 - $V_{IN} = 1.5V$, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 0.6A$

图 4-7 显示了 $V_{OUT} = 3.3V$ 时，在自动 PFM 模式下使用不同输入电压的效率曲线。

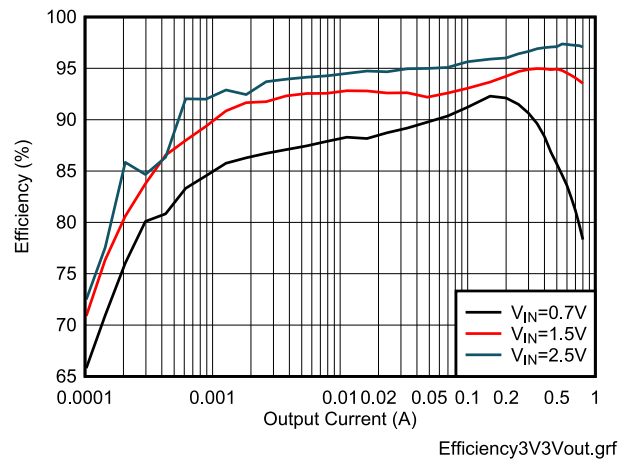


图 4-7. 自动 PFM 模式下不同输入负载效率

5 总结

本应用手册介绍了如何设计适用于超级电容器备用电源应用的外部元件。借助详细的设计指南，可测试稳定性性能和效率以验证解决方案。

6 参考文献

- 德州仪器 (TI) , [TPS61022 具有 0.5V 超低输入电压的 8A 升压转换器数据表](#)
- 德州仪器 (TI) , [TPS61022EVM-034 评估模块用户指南](#)
- 德州仪器 (TI) , [TPS61022 和 TPS61023 升压转换器布局指南](#)

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