

Nigel Smith

设计目标

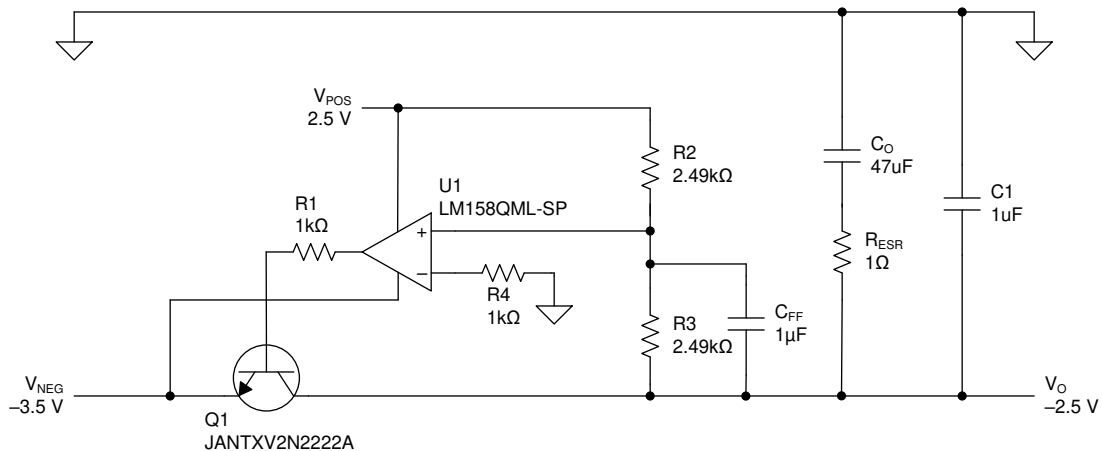
参数	设计目标
输入电压范围	-4V 至 -3V
输出电压	-2.5V
输出电流范围	0mA 至 100mA
电离辐射总剂量	100krad (Si)
单粒子闩锁抗扰度	75 MeV-cm ² /mg

设计说明

绝大多数电子电路都是在一个或多个正电源电压下工作，这就是市面上正电压稳压器远多于负电压稳压器的原因。在负电压稳压器数量非常有限的航天市场上，负电压稳压器的稀少更为明显。然而，有时特定器件或应用电路需要负电压稳压器。

下图显示了一个 100mA 负低压降 (LDO) 稳压器电路，该电路旨在为 LMH5401-SP 全差分放大器提供负电源电压。该电路使用传统的 LDO 架构，但使用正电源而不是单独的带隙器件作为其基准。对于为放大器供电等应用，电源电压的绝对精度并不是关键，使用正电源是实现所需性能的一种简单而经济高效的方式。

请注意，由于 Q1 引起的信号反转，反馈网络连接到运算放大器的同相输入端。



设计注意事项

传输晶体管 Q1 中的功耗和结温不得超过器件和应用所允许的最大值。在航天应用中，晶体管的最高允许功耗可能明显低于器件的额定值。例如，欧洲航天局 (ESA) 建议降额系数为 65%。同样，尽管规定的 Q1 最高结温为 200°C，但 ESA 建议结温不超过 110°C。在负稳压器两端压降较大的应用中，Q1 中的功耗可能超过允许的最大值。但是，此类应用中不需要 LDO 稳压器，可以使用具有较大压降的标准类型，例如 [LM137QML-SP](#)。

该电路中使用的运算放大器必须具有能够在运算放大器负电源轨附近工作的输出级。为该电路选择 [LM158QML-SP](#) 是因为它符合这一标准，在航天领域应用的时间较长，并能承受高达 100krad (Si) 的电离辐射总剂量。也可以使用其他运算放大器，但可能需要调整反馈稳定性，以适应运算放大器的频率响应。

设计步骤

- 选择 R2，使得流经反馈网络的电流约为 1mA。

$$R2 = \frac{V_{POS}}{1 \text{ mA}} = \frac{2.5 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

- 选择 R3，将输出电压设置为所需的值。

$$R3 = -\frac{V_0 \times R2}{V_{POS}} = -\frac{-2.5 \text{ V} \times 2.5 \text{ k}\Omega}{2.5 \text{ V}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

- 选择输出电容 C_O 和等效串联电阻 R_{ESR} 的乘积，以生成低于 10kHz 的零点（通常越低越好）。ESR 零点的频率由以下公式得出：

$$f_{z(ESR)} = \frac{1}{2\pi R_{ESR} C_O} = \frac{1}{2\pi(1)(47 \times 10^{-6})} = 3.39 \text{ kHz}$$

R_{ESR} 既可以是所用电容器固有的电阻，也可以是与低 ESR 电容器串联的单独电阻（如本例所示）。

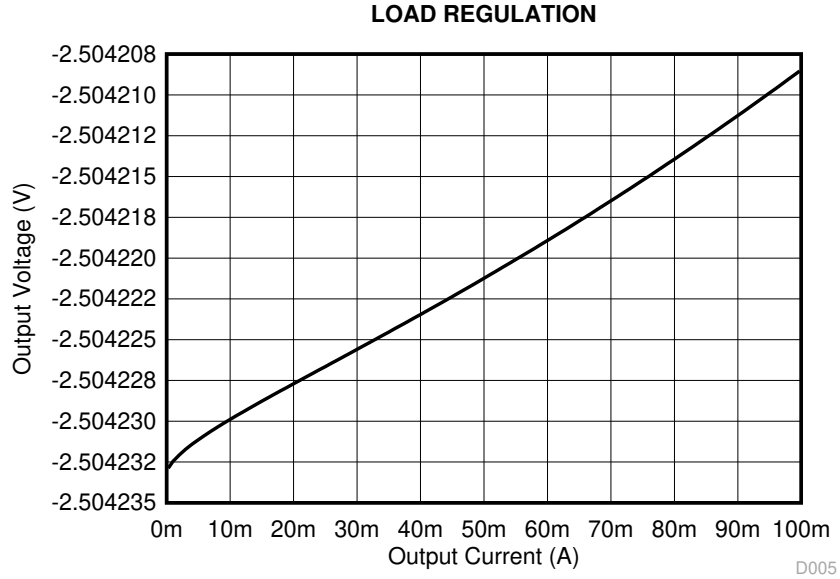
- 反馈网络上的可选前馈电容器 C_{FF} 提供了一个额外的零点，以改善瞬态响应。最好通过实验选择 C_{FF} 的值。请注意，不能单独使用 C_{FF} 来稳定环路。这是因为 R2、R3 和 C_{FF} 形成的极点和零点在频域中彼此过于接近，无法在整个输出电流范围内稳定环路。
- 额外的电容器 C1 降低了由相对较高的 R_{ESR} 值引起的初始电压阶跃响应。与 C_O 相比，C1 的值较小，不会显著影响稳定性。

设计仿真

直流仿真结果

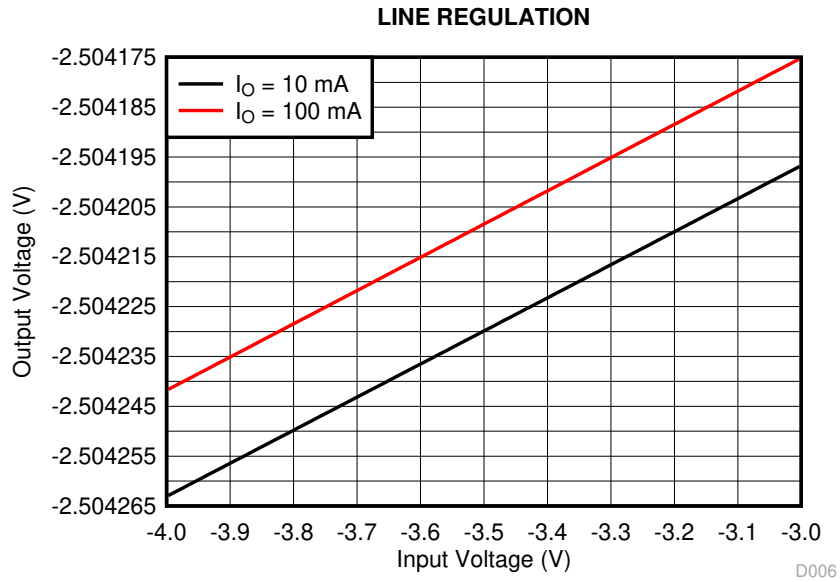
负载调节

下图显示了输出电流从 0mA 到 100mA 变化时的输出电压变化。



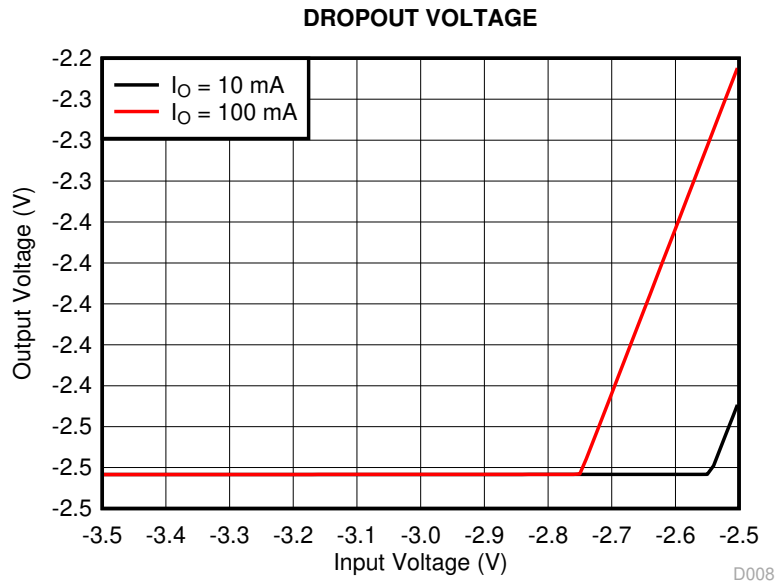
线路调节

下图显示了负电源电压从 -4V 到 -2V 变化时的输出电压变化。



压降电压

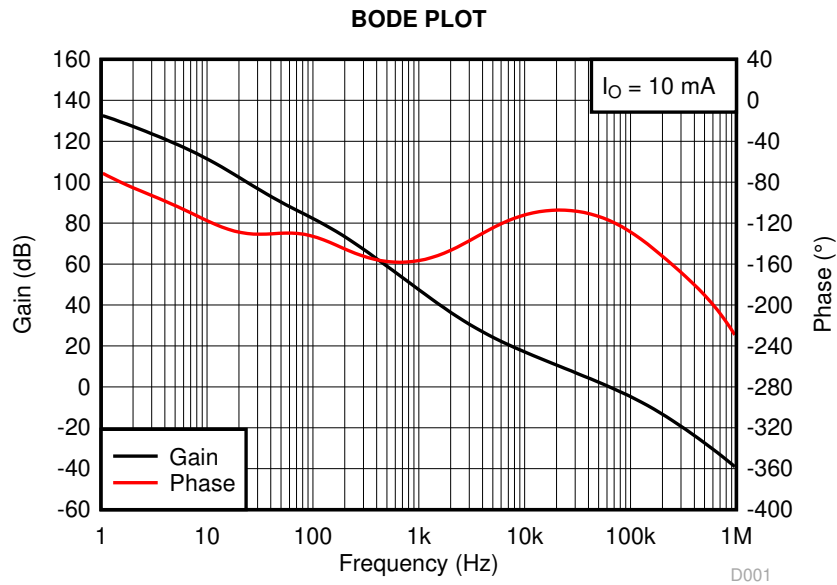
下图显示了负载电流为 10mA 和 100mA 时的压降电压。



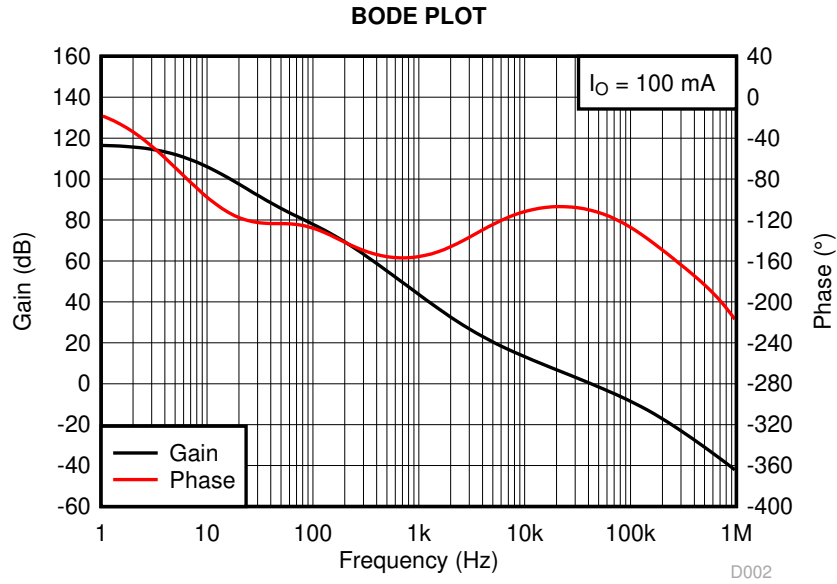
交流仿真结果

稳定性

下图显示了输出电流为 10mA 的电路的频率响应。

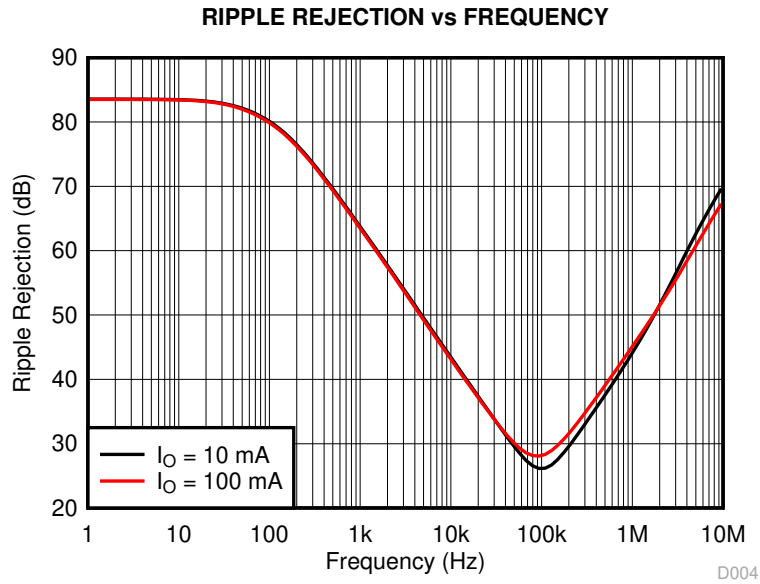


下图显示了输出电流为 100mA 的电路的频率响应。



纹波抑制

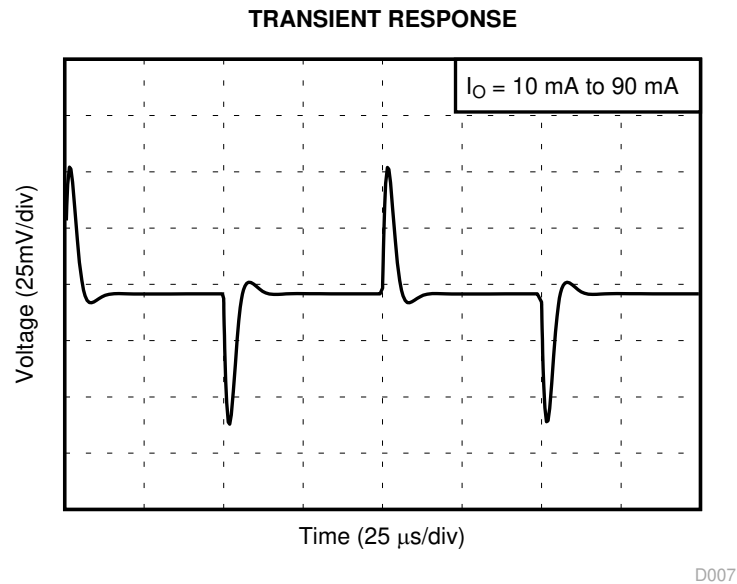
下图显示了电路的仿真纹波抑制。



瞬态仿真结果

负载瞬态响应

以下示波器图显示了电路对 10mA 至 90mA 负载阶跃的瞬态响应。



设计参考资料

德州仪器 (TI), 《使用陶瓷输出电容器实现 AN-1482 LDO 稳压器的稳定性》应用报告

设计采用的运算放大器

LM158QML-SP	
电源电压范围	3V 至 32V
每通道电源电流 (典型值)	0.35mA
输入共模电压范围	0V 至 $V_{CC} - 1.5V$
输出电压范围	0V 至 $V_{CC} - 1.5V$
输入失调电压 (25°C 时最大值)	2mV
输入偏置电流 (最大值)	50nA
单位增益带宽 (典型值)	0.7MHz
压摆率	0.5V/ μ s
通道数	2
电离辐射总剂量	100krad (Si)
单粒子闩锁抗扰度	不适用 (双极)
www.ti.com.cn/product/cn/lm158qml-sp	

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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