

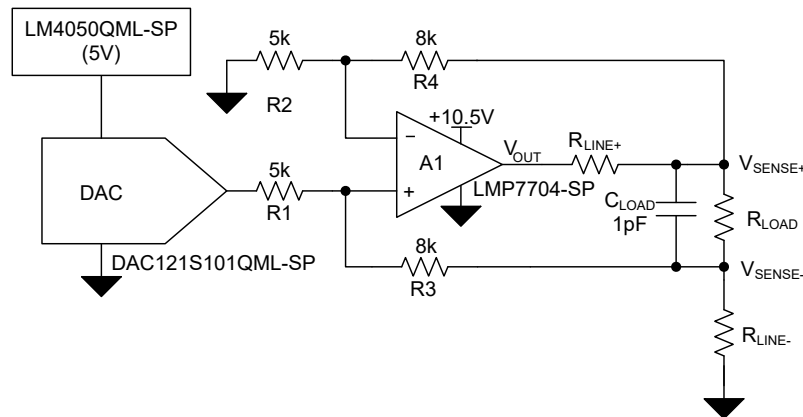
Katlynn Jones

设计目标

参数	输出
DAC 输出电压	0V - 5V
输出电压 V_{LOAD}	0V - 8V
最小负载电阻 R_{LOAD}	800 Ω
最大线路电阻补偿	R_{LOAD} 的 +28%
电离辐射总剂量 (TID)	100krad(Si)
单粒子门锁 (SEL) 抗扰度	85MeV·cm ² /mg

设计说明

具有检测连接电路的可编程电压输出在负载上提供精确的电压，从而对寄生串联电阻进行补偿。放大器 A1 使用来自附加负载的高侧和低侧的反馈在 V_{SENSE+} 和 V_{SENSE-} 之间精确调节电压。数模转换器 (DAC) 输出和分立式电阻器设置负载两端的电压。如果应用中可能存在额外的线路电阻，必须通过增大输出电压进行补偿，以便为负载提供正确电压，则可以使用该电路。



设计注意事项

1. **LMP7704-SP** 电源电压 10.5V 是根据美国国家航空航天局 (NASA) 在文件 **EEE-INST-002** (2008 年 4 月) 中以及欧洲空间标准化合作组织 (ECSS) 在文件 **ECSS-Q-ST-30-11C Rev.1** (2011 年 10 月 4 日) 中规定的降额规范选择的。这些文件分别规定了线性 IC 绝对最大电源电压的 80% 和 90% 降额。
2. 为应用选择具有低总体未调误差 (TUE) 且具有所需分辨率的 DAC。应选择诸如 **DAC121S10QML-SP** 器件之类的 DAC (使用电源作为基准) 来尽可能减少组件并减小解决方案尺寸。
3. 选择具有轨到轨输出的高压放大器, 以确保具有足够的输出摆幅来驱动负载和线路电阻。放大器应具有低失调电压和失调电压漂移, 以便不会对输出误差产生显著影响。
4. 电阻器不匹配会直接导致输出端增益误差。使用具有 0.05% 或更佳容差和低热漂移的电阻器。
5. 为了正确补偿额外的线路电阻, **R2:R4** 的比率必须尽可能与 **R3:R1** 的比率相匹配。
6. 基于所需的输出电压、额外的线路电阻和最大负载电流下的放大器输出摆幅来选择放大器电源电压。
7. 为了减小零标度下的误差, 应向放大器提供负电压。

设计步骤

1. 基于 DAC 电压和电阻器值的 V_{OUT} 的传递函数为：

$$V_{LOAD} = \frac{R3}{R1} \times V_{DAC}; \frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}$$

2. 为 R3 选择 8kΩ 的电阻。然后计算 R1：

$$R1 = \frac{V_{DAC,FS}}{V_{LOAD,FS}} \times R3 = \frac{5V}{8V} \times 8k\Omega = 5k\Omega$$

3. 选择分别等于 R3 和 R1 的 R4 和 R2。
4. 根据最小负载电阻和满标度 V_{LOAD} 计算最大负载电流。最大负载电流会影响放大器输出电压摆幅和电路可以补偿的额外线路电阻。

$$I_{LOAD,max} = \frac{V_{LOAD,FS}}{R_{LOAD,FS}} \times R3 = \frac{8V}{800\Omega} = 10mA$$

计算驱动 28% 的额外负载电阻及保持 R_{LOAD} 上的电压调节所需的 V_{CC} 电压。 $V_{O,rail}$ 是 10mA 负载电流下相对于 $V+$ 的近似放大器输出摆幅。

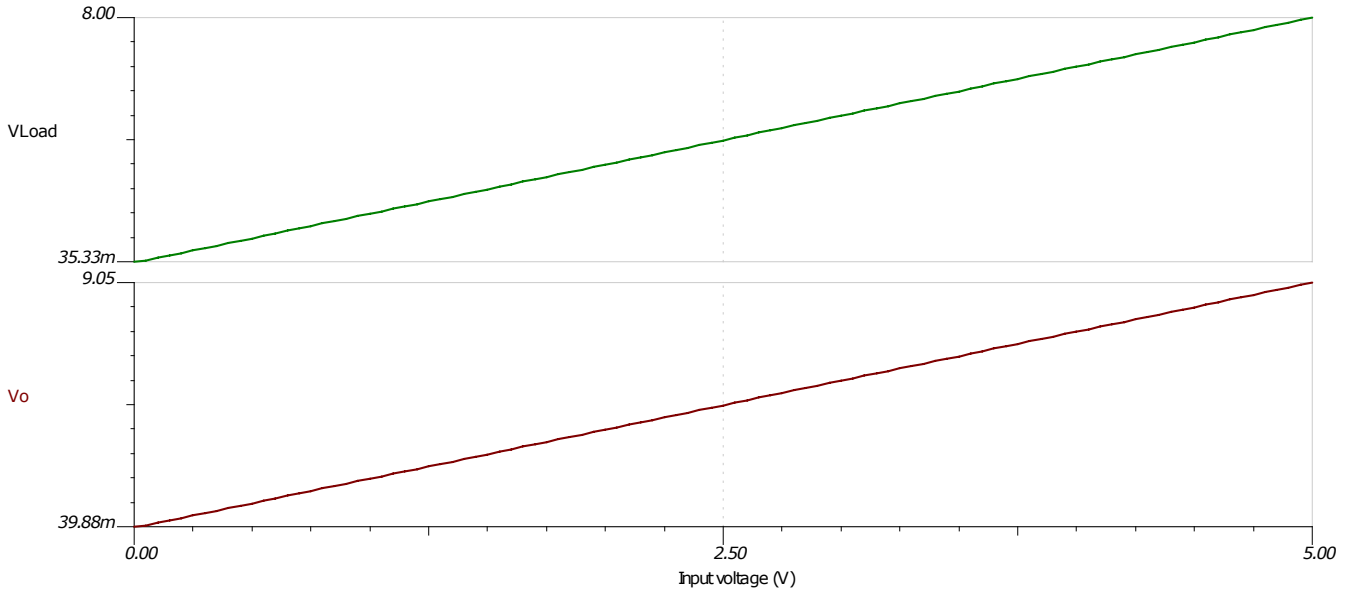
$$V_{CC,min} = C_{O,rail} + 0.28 \times R_{LOAD,min} \times I_{LOAD,max} + V_{LOAD,FS} = 200mV + 0.28 \times 800\Omega \times 10mA + 8V = 10.44V$$

将 **LMP7704-SP** 最大电源电压降额 80% 可实现 10.5V 的最大电源电压。

设计仿真

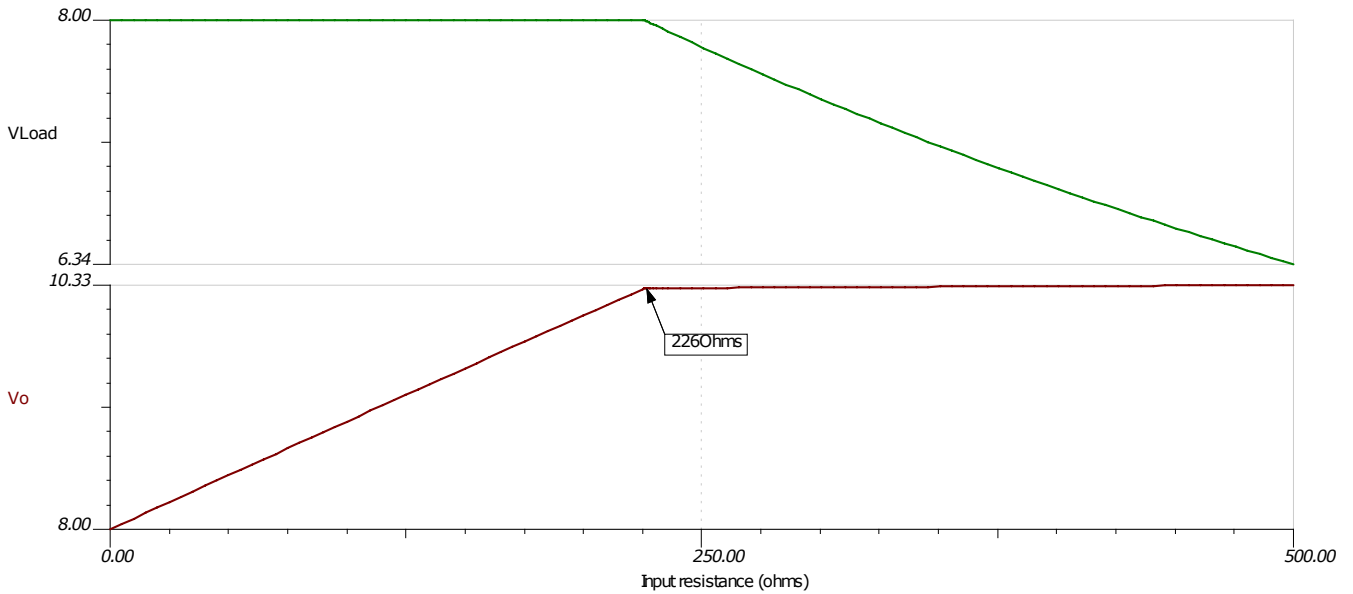
直流传输特性

以下仿真显示了具有 $100\ \Omega$ 额外线路电阻的电路的输出传递函数。



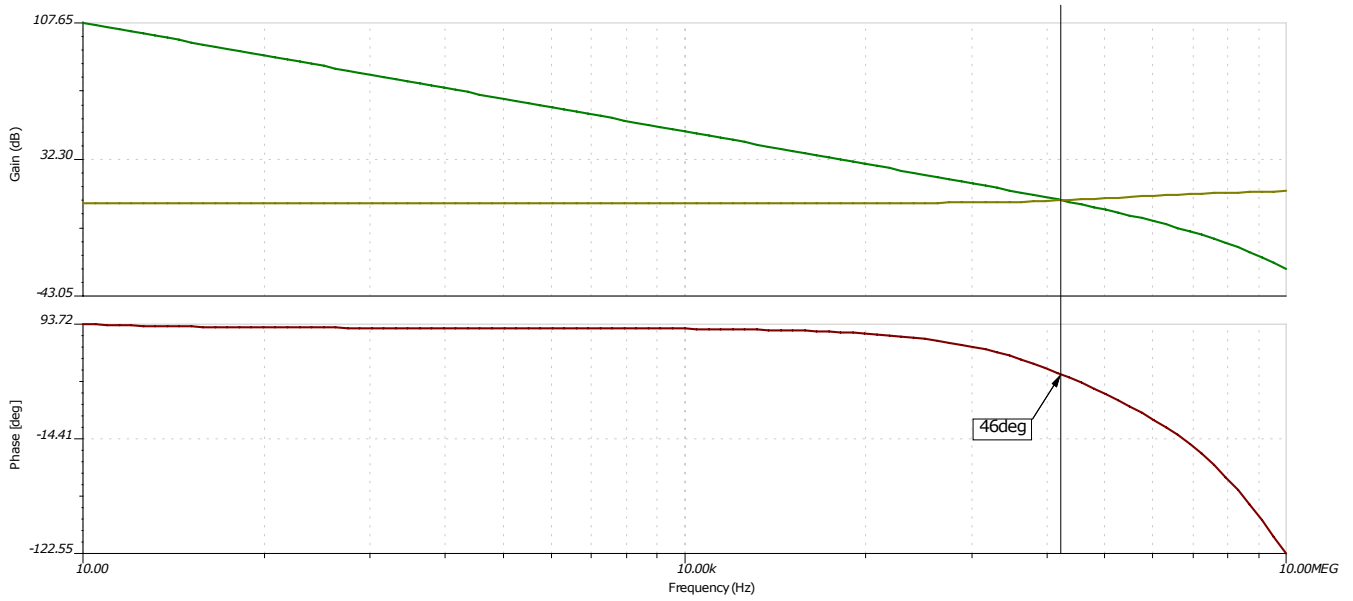
最大额外线路电阻

以下仿真显示了通过高达 $226\ \Omega$ 的额外线路电阻对 8V 最大负载电压进行调节的情况。



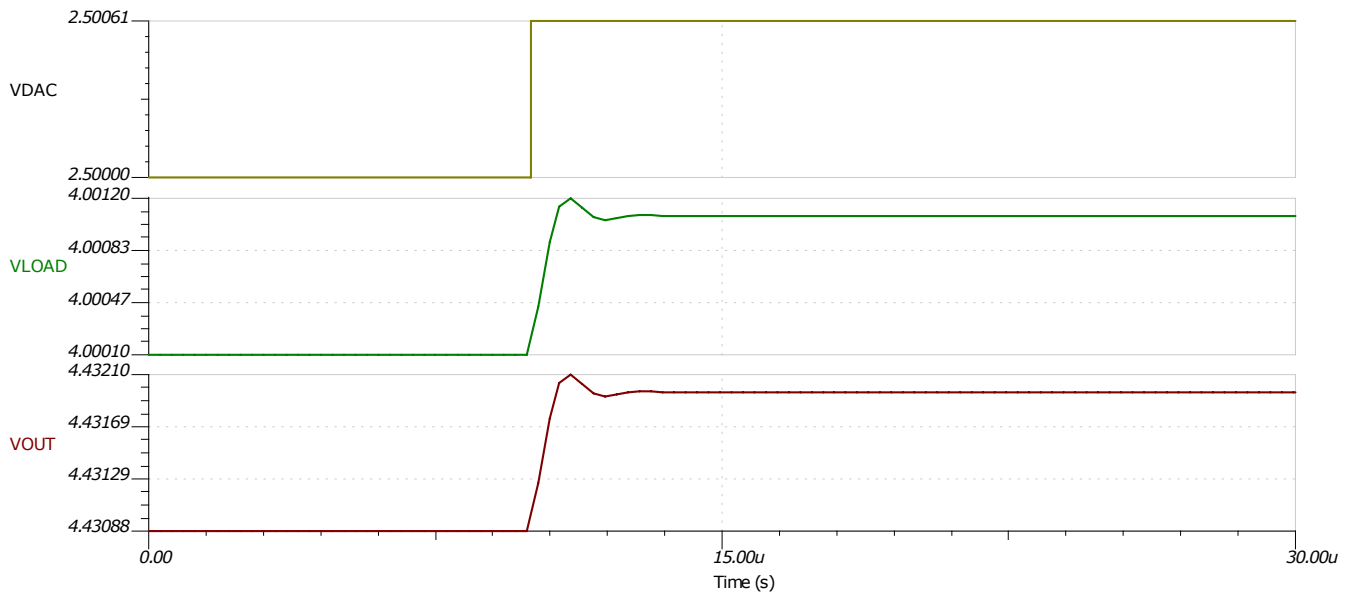
稳定性

下图显示了输出端具有 1pF 负载的电路的稳定性仿真。相位裕度为 46°。



小阶跃响应

下图显示了输出端具有 1pF 负载的电路的 LSB 阶跃响应。



设计参考资料

[具有感应连接的可编程电压输出电路](#)

其他资源：

- 在我们的[精密 DAC 学习中心](#)了解有关使用精密 DAC 的更多信息。
- 了解 [TI 的精密 DAC 产品系列](#)并找到更多技术内容。

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 E2E 社区：e2echina.ti.com。

设计中采用的器件

器件	关键特性	链接
DAC121S101QML-SP	具有轨到轨输出的耐辐射型 12 位低功耗数模转换器	https://www.ti.com.cn/product/cn/DAC121S101QML-SP
LMP7704-SP	低功耗、高精度、低噪声、轨到轨输出运算放大器	https://www.ti.com.cn/product/cn/LMP7704-SP
LM4050QML-SP	耐辐射保证 (RHA) 2.5V 或 5V 并联电压基准	https://www.ti.com.cn/product/cn/LM4050QML-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