

航天级 100krad 分立式三路运算放大器仪表放大器电路



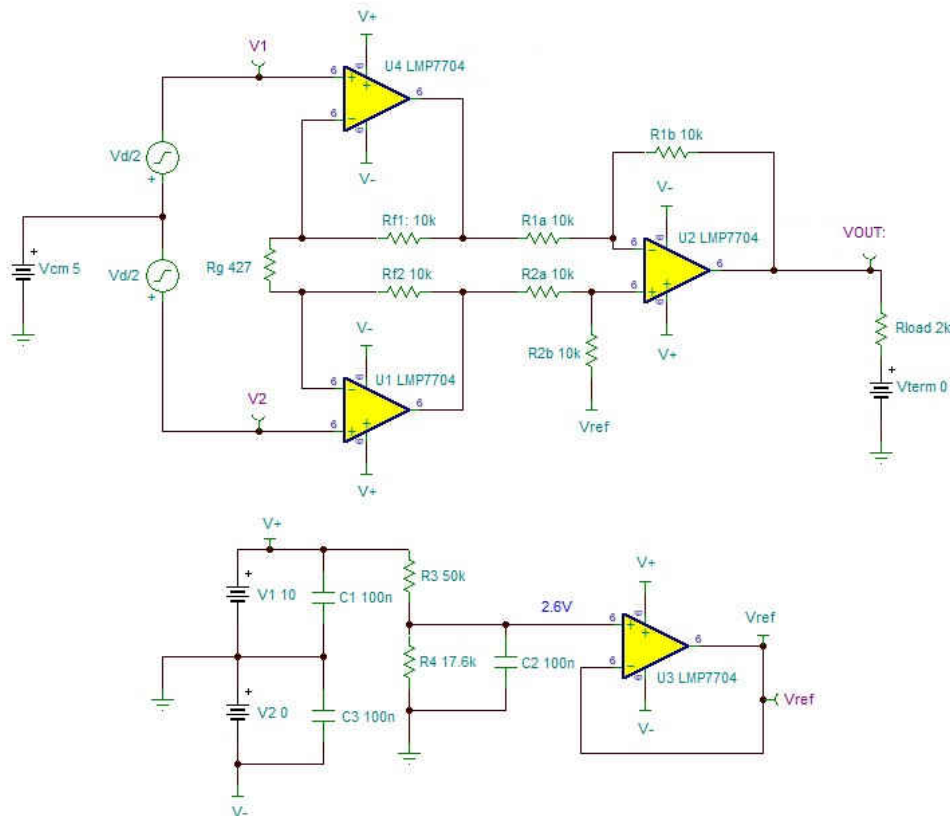
Nicholas Butts

设计目标

输入		输出		共模电压		电源		电离总剂量 ≥ 100krad(Si)	SEL 抗扰度 ≥ 85MeV·cm ² /mg
V _{d_min}	V _{d_max}	V _{out_min}	V _{out_max}	V _{cm}	V ₊	V ₋	V _{ref}		
-50 mV	50mV	0.2V	5V	5V	10V	0V	2.6V		

设计说明

本设计使用分立式运算放大器来实现仪表放大器 (IA) 设计, 该设计采用航天级 (SP) 组件用于航天应用。电路将差动信号转换为单端输出信号。仪表放大器的线性操作取决于其构建块 (即运算放大器) 的线性操作。当输入和输出信号分别处于器件的输入共模和输出摆幅范围内时, 运算放大器线性操作。用于为运算放大器供电的电源电压定义这些范围。



设计注意事项

1. 使用低容差电阻器实现高直流 CMRR 性能。电阻器的不匹配也会导致增益和输出精度的误差。
2. 本设计中所有的电阻器和电容器都必须经过航天级验证。
3. R_g 设置输入级的增益。 R_{1a} 和 R_{1b} 可用于设置第二级的增益 (参阅 [设计步骤](#)) 。
4. R_{f1} 和 R_{f2} 在本设计中是标定匹配的。一般来说, R_{f1} 和 R_{f2} 不需要匹配; 在某些情况下, 期望 R_{f1} 和 R_{f2} 不匹配, 以便输入级的顶部放大器和底部放大器具有不同的增益。例如, 如果 V_{cm} 不在中位电压, 而是更接近其中一个轨, 则可以调整 R_{f1} 和 R_{f2} , 这样两个输入级放大器都不会耗尽裕量。
5. 集成仪表放大器通常具有固定的最小增益。除了在高增益配置中使用 IA 之外, 构建这样的分立式 IA 还可灵活地实现小于 1V/V 的任何增益。
6. 高值电阻器会降低电路的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。
7. 向输出级添加隔离电阻器以驱动大电容负载。
8. 线性操作取决于所使用的分立式运算放大器的输入共模和输出摆幅范围。为了获得最佳性能, 请选择 $V_{cm} = (V_+ + V_-) / 2$ (中位电压)。
9. C_2 和 $R_3 \parallel R_4$ 形成一个转角频率为 147.16Hz 的低通滤波器。
10. V_{ref} 引脚必须由可以灌入和拉出电流的低阻抗基准 (例如缓冲器) 供电。使用高阻抗基准, 例如不带缓冲器的电阻分压器, 可能会导致 CMRR 的不匹配和降低。
11. 本设计 V_{out_min} 选择为 0.2V, 以避免 LMP7704-SP 输出摆动太靠近电源轨相关的非线性问题。如果本设计使用的是其他不同的运算放大器, 请务必查看数据表以确定允许的最小和最大输出值。
12. 10V 的 LMP7704-SP 电源电压 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) 中提供的降额规范选择的。这些文件分别规定了线性 IC 的绝对最大电源电压分别降额 80% 和 90% 。
13. 本设计可以通过单个 4 通道 LMP7704-SP 或类似器件来实现。有关更宽的运算放大器 (36V), 请参阅 [设计备用运算放大器](#)。请注意, 列出的备用器件满足 TID = 50krad(Si)。

设计步骤

1. 使用以下公式计算此电路的输出电压 V_{out} :

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{f1} + R_{f2}}{R_g} \right) \times \frac{R_{1b}}{R_{1a}} \times V_d + V_{ref}$$

在该公式中, $V_d = V_2 - V_1$ 是差分输入电压, V_{ref} 由 R_3 和 R_4 设置以对输出进行电平转换, 并假设 $R_{1a} = R_{2a}$ 且 $R_{1b} = R_{2b}$ 。集成仪表放大器通常会固定 R_{f1} 、 R_{f2} 、 R_{1a} 、 R_{2a} 、 R_{1b} 和 R_{2b} , 只留下 R_g 来设置电路的增益。在这种分立式实现方案中, 设计人员能够自由更改所有这些电阻器, 而传递函数可以通过标准值来简化, 例如 $R_{f1} = R_{f2} = R_{1a} = R_{1b} = R_{2a} = R_{2b} = 10k\Omega$, 仅使用 R_g 来设置增益。在此情况中, 可以使用以下简化的公式计算 R_g :

$$V_{out} = \left(1 + \frac{20k\Omega}{R_g} \right) \times V_d + V_{ref}$$

2. 设置 V_{ref} 。在本设计中, V_{ref} 已按以下公式设置, 以便 $-50mV$ 至 $+50mV$ 的对称输入电压范围能够产生 $0.2V$ 至 $5V$ 的输出电压范围。

$$V_{ref} = 2.6V = \frac{V_{out_max} + V_{out_min}}{2} = \frac{5V + 0.2V}{2}$$

$$V_{ref} = 2.6V = V_+ \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 12V \times \frac{R_4}{50k\Omega + R_4}$$

$$R_4 = 13.83k\Omega \approx 13.8k\Omega \text{ (标准值)}$$

NOTE

所选的 R_3 和 R_4 的强度应使 $R_3 \parallel R_4$ 接近 $10k\Omega$, 这样由 $R_3 \parallel R_4$ 和 C_2 形成的低通滤波器接近普通的低通滤波器。 $R = 10k\Omega$ 和 $C = 100nF$ 。

3. 选择 R_g 以通过简化的传递函数设置所需的增益。

$$5V = \left(1 + \frac{20k\Omega}{R_g} \right) \times 50mV + 2.6V$$

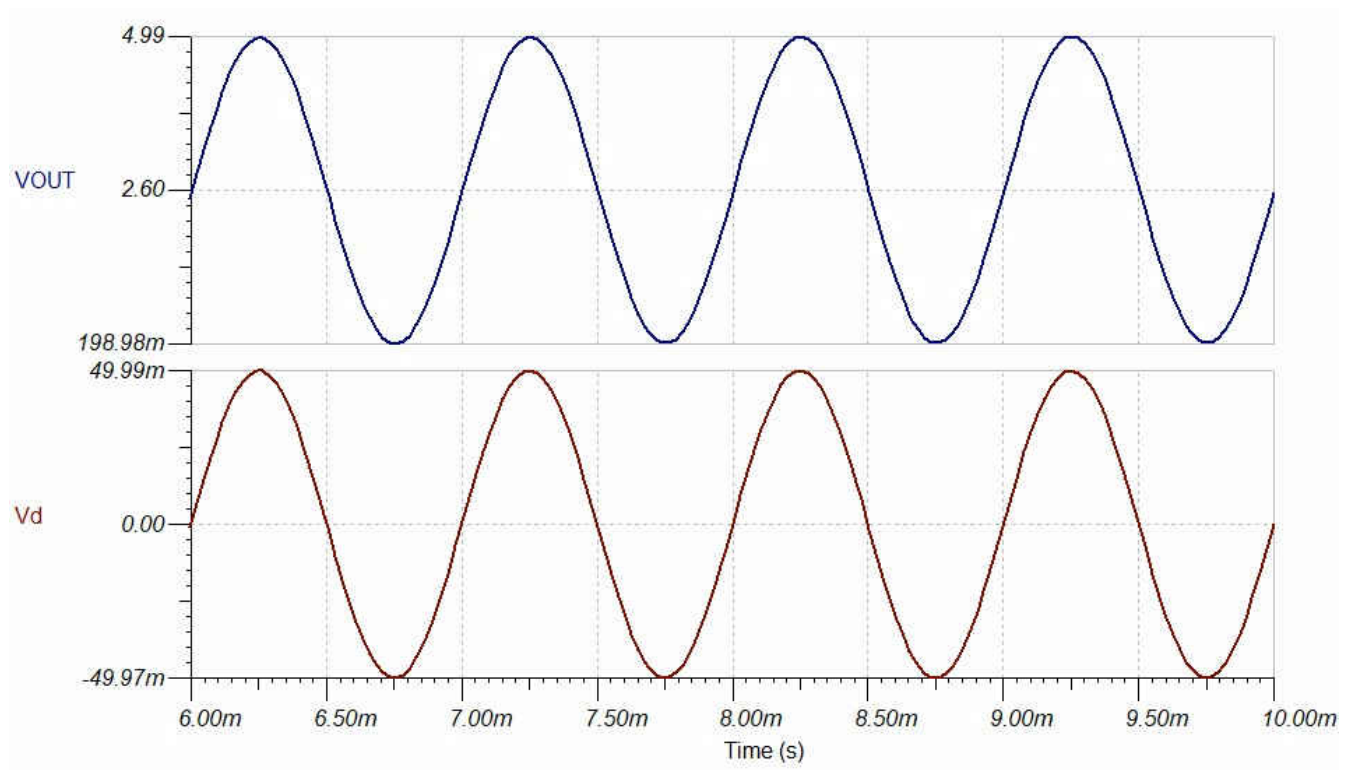
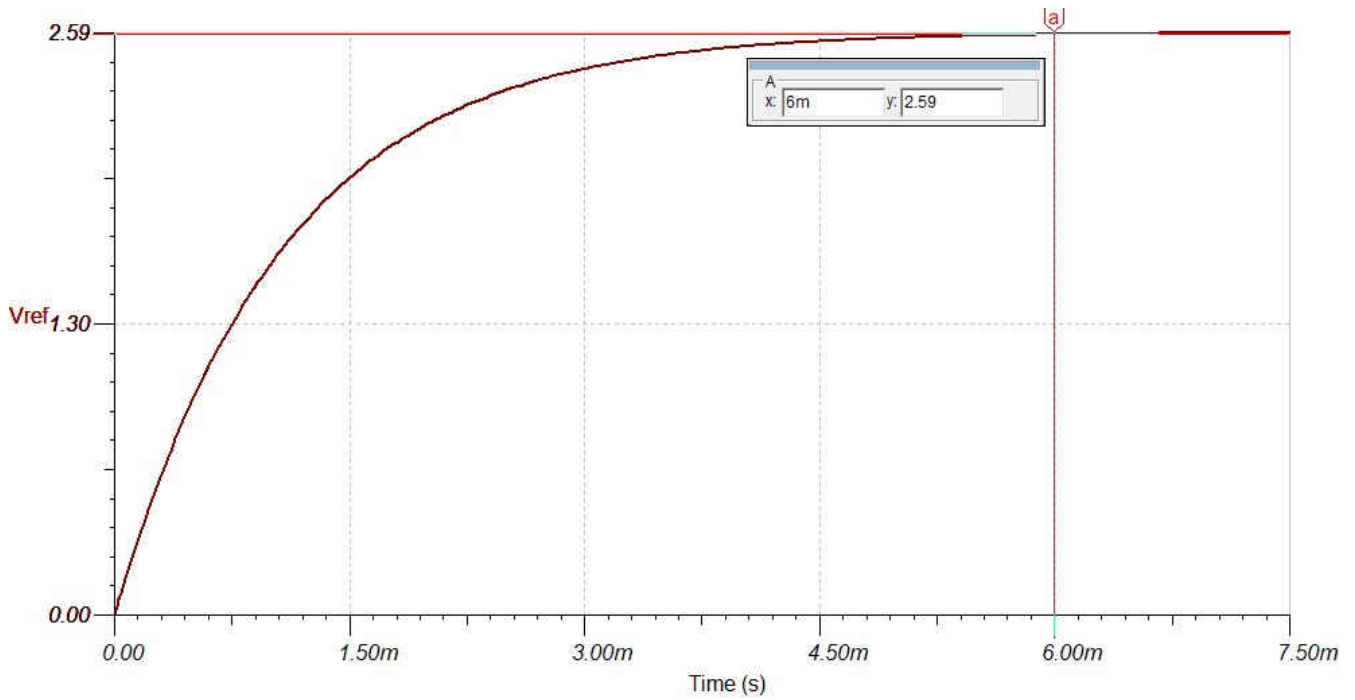
$$R_g = 425\Omega \approx 427\Omega \text{ (标准值)}$$

这对应于增益 :

$$G = 1 + \frac{20k\Omega}{427\Omega} = 47.84V / V$$

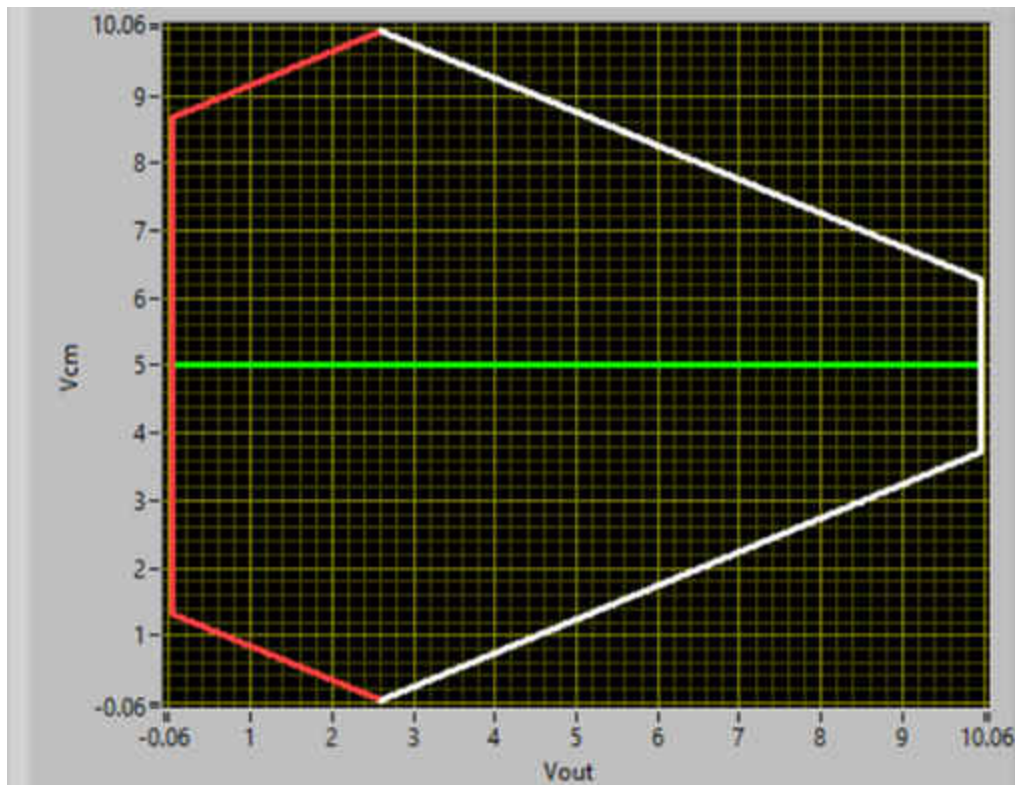
瞬态仿真结果

使用由 R_3 、 R_4 和 C_2 形成的低通滤波器， V_{ref} 大约需要 6ms 达到其目标值：



V_{cm} 和 V_{out} 限制

下图显示了给定 V_{cm} 的允许输出电压范围。



设计参考资料

1. [常见问题解答](#) - 仪表放大器 (INA) 如何适合我的设计？
2. [TI 精密实验室](#) - 讨论仪表放大器理论和应用的在线培训课程
3. [I 仪表放大器 \$V_{cm}\$ vs. \$V_{out}\$ 图](#)
4. [模拟工程师的计算器](#)

设计精选运算放大器

LMP7704-SP	
V_{supply}	$\pm 1.35V$ 至 $\pm 6V$
V_{inCM}	$(V_-) - 0.2V$ 至 $(V_+) + 0.2V$
V_{out}	$(V_-) - 120mV$ 至 $(V_+) + 120mV$
V_{os}	$\pm 32 \mu V$
I_q	每通道 $725 \mu A$
I_b	$\pm 200fA$
UGBW	2.5MHz
SR	$0.9V/\mu s$
通道数	4
电离总剂量	100krad(Si)
针对 LET 的 SEL 抗扰度	$85MeV \cdot cm^2/mg$
www.ti.com.cn/product/cn/LMP7704-SP	

设计备用运算放大器

OPA4277-SP	
V_{supply}	$\pm 2V$ 至 $\pm 18V$
V_{inCM}	$(V_-) + 2V$ 至 $(V_+) - 2V$
V_{out}	$(V_-) + 1.5V$ 至 $(V_+) - 1.5V$
V_{os}	$\pm 20 \mu V$
I_q	每通道 $790 \mu A$
I_b	$\pm 17.5nA$
UGBW	1MHz
SR	$0.8V/\mu s$
通道数	4
电离总剂量	50krad(Si)
针对 LET 的 SEL 抗扰度	$85MeV \cdot cm^2/mg$
www.ti.com.cn/product/cn/OPA4277-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