

Analog Engineer's Circuit

低通滤波反相放大器电路

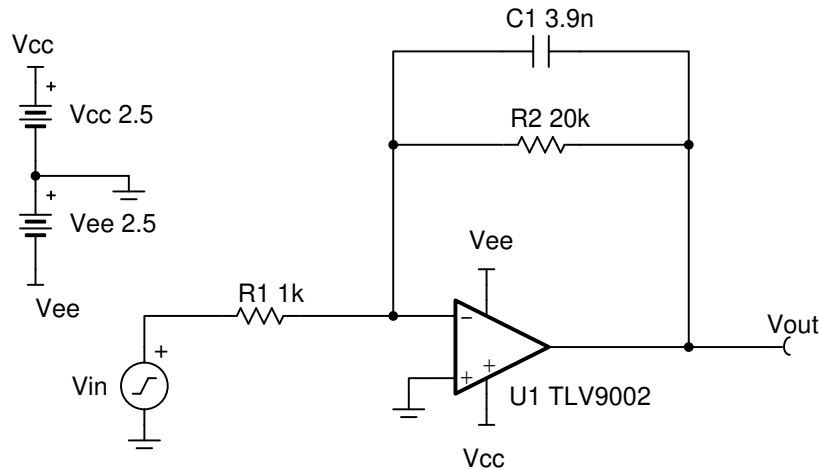


设计目标

输入		输出		BW	电源	
V_{iMin}	V_{iMax}	V_{oMin}	V_{oMax}	f_p	V_{ee}	V_{cc}
-0.1V	0.1V	-2V	2V	2kHz	-2.5V	2.5V

设计说明

这款可调式低通反相放大器电路可将信号电平放大 26dB 或 20V/V。R₂ 和 C₁ 可设置此电路的截止频率。此电路的频率响应与无源 RC 滤波器的相同，除非输出按放大器的通带增益进行放大。低通滤波器通常用于音频信号链，此滤波器有时也称为低音增强滤波器。



设计说明

1. C₁ 和 R₂ 可设置低通滤波器截止频率。
2. 共模电压根据运算放大器的同相输入设置，在这种情况下，输入为 1/2 Vs。
3. 使用高值电阻器可能会减小电路的相位裕度并在电路中引入额外的噪声。
4. R₂ 和 R₁ 可设置电路增益。
5. 为音频低音增强应用选择 2kHz 的极点频率 f_p 。
6. 避免将电容负载直接放置在放大器的输出，从而更大限度减少稳定性问题。
7. 大信号性能可能会受到压摆率的限制。因此，应检查数据表中的最大输出摆幅与频率间的关系图，从而更大限度减小转换导致的失真。
8. 有关运算放大器线性运行区域、稳定性、转换导致的失真、电容负载驱动、驱动 ADC 和带宽的更多信息，请参阅“设计参考”部分。

设计步骤

下面给出了该电路的直流传递函数。

$$V_o = V_i \times \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

1. 为给定的通带增益选择电阻值。

$$Gain = \frac{R_2}{R_1} = 20 \frac{V}{V} \quad (26 \text{ dB})$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = Gain \times (R_1) = 20 \frac{V}{V} \times 1 \text{ k}\Omega = 20 \text{ k}\Omega$$

2. 选择低通滤波器极点频率 f_p 。

$$f_p = 2 \text{ kHz}$$

3. 使用 R_2 设置 f_p 的位置，计算 C_1 。

$$f_p = \frac{1}{2 \times \pi \times R_2 \times C_1} = 2 \text{ kHz}$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \times \pi \times R_2 \times f_p} = \frac{1}{2 \times \pi \times 20 \text{ k}\Omega \times 2 \text{ kHz}} = 3.98 \text{ nF} \approx 3.9 \text{ nF} \quad (\text{Standard Value})$$

4. 计算更大限度降低转换导致的失真所需的最小压摆率。

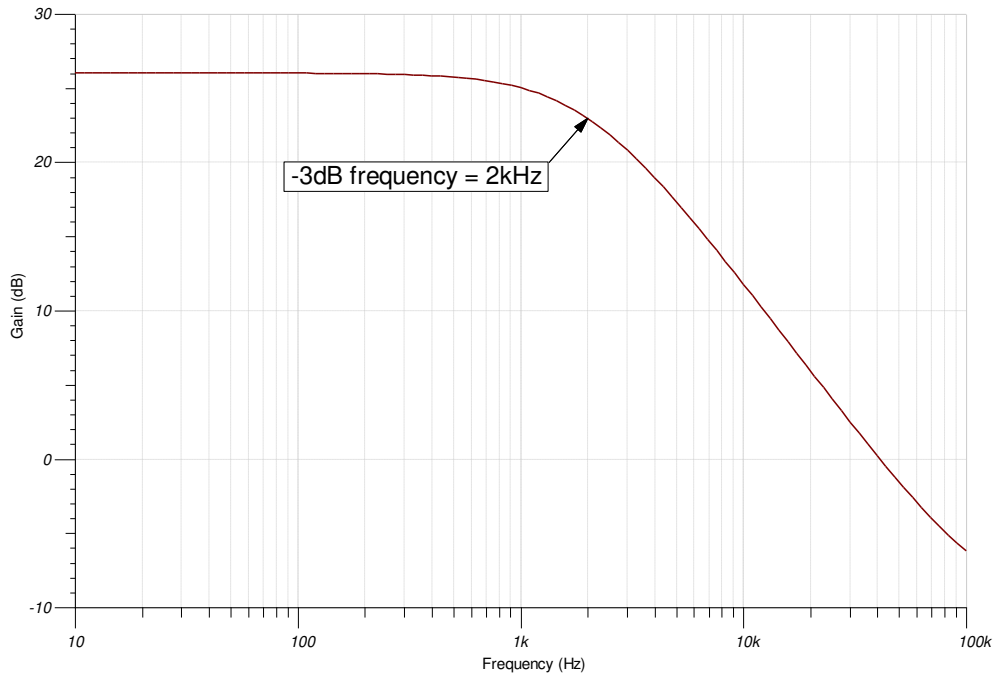
$$V_p = \frac{SR}{2 \times \pi \times f_p} \rightarrow SR > 2 \times \pi \times f_p \times V_p$$

$$SR > 2 \times \pi \times 2 \text{ kHz} \times 2 \text{ V} = 0.025 \frac{V}{\mu\text{s}}$$

5. $SR_{TLV9002} = 2\text{V}/\mu\text{s}$ ，因此它满足该要求

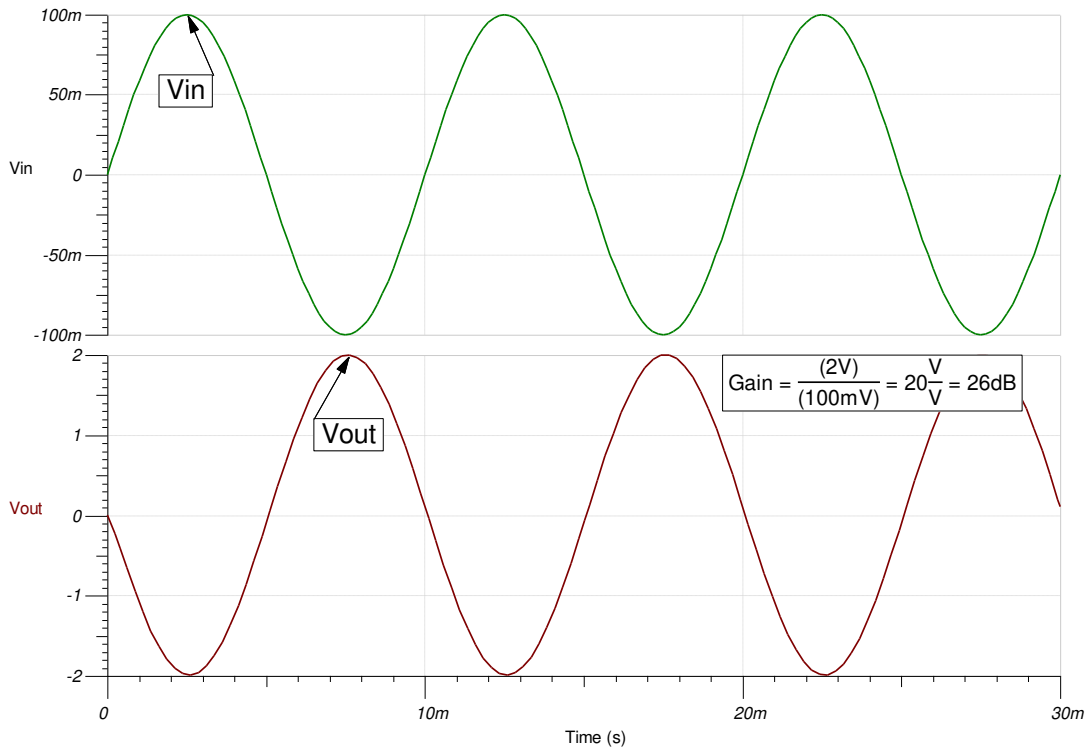
设计仿真

交流仿真结果

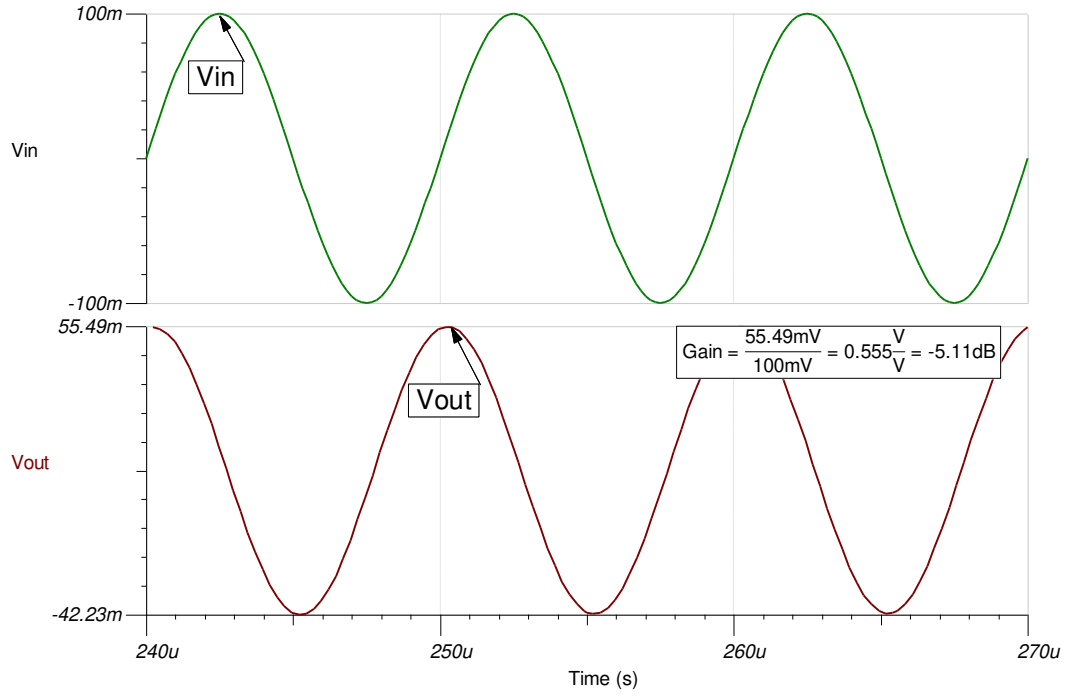


瞬态仿真结果

100Hz、0.2V_{pp} 的正弦波可产生 4V_{pp} 的输出正弦波。



100kHz、0.2V_{pp} 的正弦波可产生 0.1V_{pp} 的输出正弦波。



参考资料：

1. 《模拟工程师电路设计指导手册》
2. SPICE 仿真文件 [SBOC523](#)
3. TI 高精度设计 [TIPD185](#)
4. [TI 高精度实验室](#)

设计采用的运算放大器

TLV9002	
V_{ss}	1.8V 至 5.5V
V_{inCM}	轨到轨
V_{out}	轨到轨
V_{os}	0.4mV
I_q	60 μ A
I_b	5pA
UGBW	1MHz
SR	2V/ μ s
通道数	1、2、4
www.ti.com.cn/product/cn/tlv9002	

设计备选运算放大器

OPA375	
V_{ss}	2.25V 至 5.5V
V_{inCM}	V_{ee} 至 $V_{cc} - 1.2V$
V_{out}	轨到轨
V_{os}	0.15mV
I_q	890 μ A
I_b	10pA
UGBW	10MHz
SR	4.75V/ μ s
通道数	1
www.ti.com.cn/product/cn/opa375	

修订历史记录

修订版本	日期	更改
A	2021 年 1 月	将设计步骤 4 中的结果从 0.25 更新为 0.025

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