

# Analog Engineer's Circuit

## 具有 T 网络电路的跨阻放大器



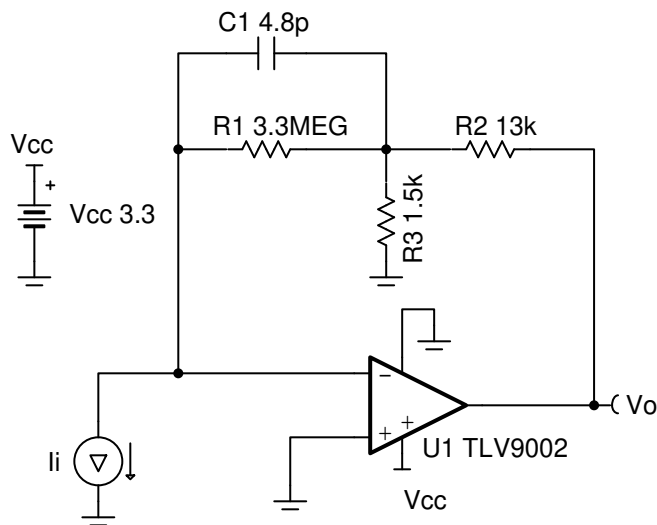
### Amplifiers

#### 设计目标

| 输入电压       |            | 输出电压       |            | BW    | 电源电压     |          |
|------------|------------|------------|------------|-------|----------|----------|
| $I_{iMin}$ | $I_{iMax}$ | $V_{oMin}$ | $V_{oMax}$ | $f_p$ | $V_{cc}$ | $V_{ee}$ |
| 0A         | 100nA      | 0V         | 3.2V       | 10kHz | 3.3V     | 0V       |

#### 设计说明

这个采用 T 网络反馈配置的跨阻放大器可以将输入电流源转换为输出电压。电流到电压的增益基于 T 网络等效电阻，它大于电路中使用的任何电阻。因此，T 网络反馈配置电路可实现非常高的增益，无需在反馈中使用大电阻或第二个增益级，可减少噪声、稳定性问题和系统中的错误。



#### 设计说明

1.  $C_1$  和  $R_1$  可设置输入信号截止频率  $f_p$ 。
2. 电容器  $C_1$  与  $R_1$  并联，有助于限制带宽、减少噪声，如果使用高阻值电阻，还可改善电路的稳定性。
3. 共模电压是同相输入端的电压，不随输入电流而变化。
4. 可以向同相输入添加偏置电压，将输出电压偏置为 0A 输入电流的输出摆幅下限之上。
5. 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。
6. 避免将容性负载直接放置在放大器的输出端，以最大程度地减少稳定性问题。
7. 有关运算放大器线性运行区域、稳定性、转换导致的失真、容性负载驱动、驱动 ADC 和带宽的更多信息，请参阅 [设计参考](#) 部分。

## 设计步骤

此电路的传递函数遵循：

$$V_o = I_i \times \left( \frac{R_2 \times R_1}{R_3} + R_1 + R_2 \right)$$

1. 计算所需增益：

$$\text{Gain} = \frac{V_{o\text{Max}}}{I_{o\text{Max}}} = \frac{3.2\text{V}}{100\text{nA}} = 3.2 \times 10^7 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

2. 选择电阻器值，以设置通带增益：

$$\text{Gain} = \left( \frac{R_2 \times R_1}{R_3} + R_1 + R_2 \right)$$

由于  $R_1$  将是系统中最大的电阻器值，请首先选择此值，然后选择  $R_2$  并计算  $R_3$ 。选择  $R_1 = 3.3\text{M}\Omega$  和  $R_2 = 13\text{k}\Omega$ 。 $R_1$  非常大，因为此电路跨阻增益大。 $R_2$  在  $\sim 10\text{k}\Omega$  范围内，因此运算放大器可以轻松驱动它。

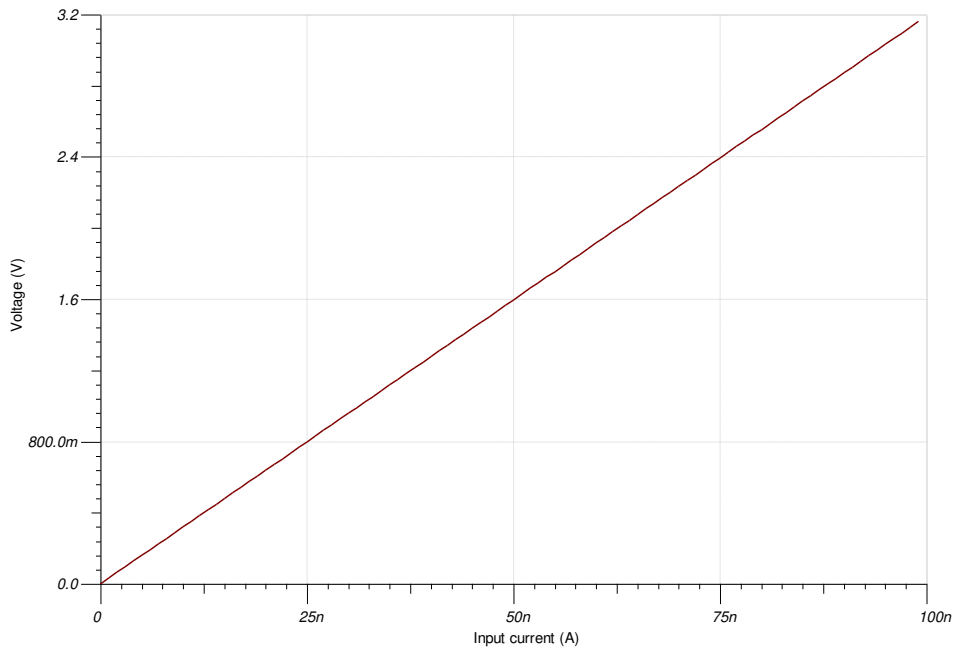
$$R_3 = \left( \frac{R_2 \times R_1}{\text{Gain} - R_1 - R_2} \right) = \left( \frac{13\text{k}\Omega \times 3.3\text{M}\Omega}{3.2 \times 10^7 \frac{\text{V}}{\text{A}} - 3.3\text{M}\Omega - 13\text{k}\Omega} \right) = 1.5\text{k}\Omega$$

3. 计算  $C_1$ ，以设置  $f_p$  的位置。

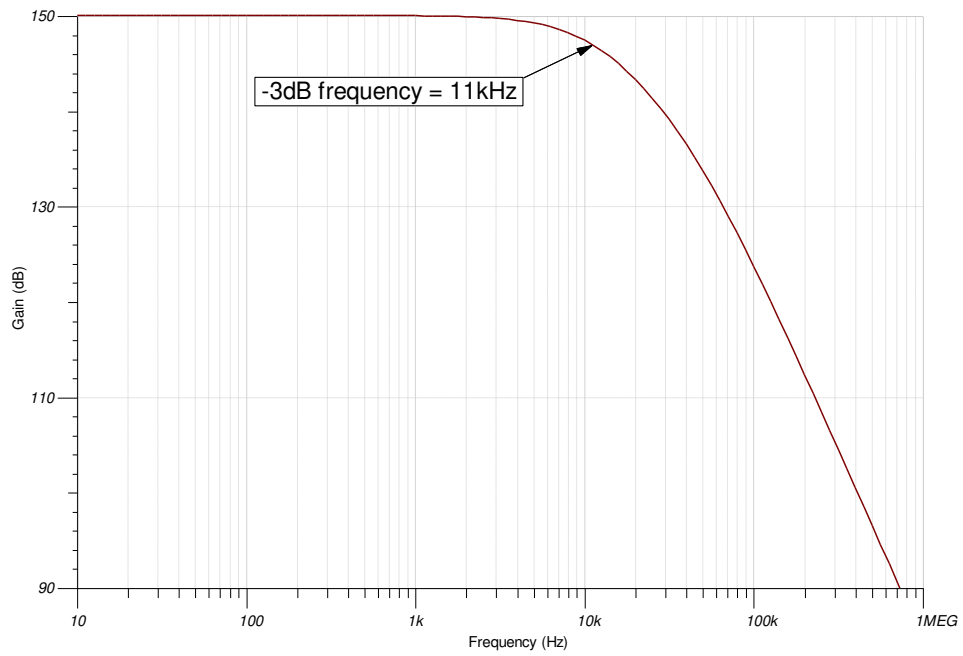
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times f_p} = \frac{1}{2\pi \times 3.3\text{M}\Omega \times 10\text{kHz}} = 4.82\text{pF} \approx 4.8\text{pF} (\text{标准值})$$

4. 运行稳定性分析，确保该电路稳定。有关如何运行稳定性分析的更多信息，请观看 [TI 高精度实验室 - 运算放大器：稳定性](#) 视频。

设计仿真  
直流仿真结果



交流仿真结果



## 设计参考资料

1. 请参阅《模拟工程师电路说明书》，了解有关 TI 综合电路库的信息。
2. 请参阅 SPICE 文件 [SBOMB39](#)。
3. 请参阅 TIPD176，[www.ti.com.cn/tool/cn/tipd176](http://www.ti.com.cn/tool/cn/tipd176)。
4. 有关大量运算放大器主题（包括共模范围、输出摆幅、带宽和如何驱动 ADC）的更多信息，请访问 [TI 高精度实验室](#)。

## 设计采用的运算放大器

| TLV9002  |             |
|--|-------------|
| $V_{CC}$   | 1.8V 至 5.5V |
| $V_{inCM}$   | 轨到轨         |
| $V_{out}$  | 轨到轨         |
| $V_{os}$   | 0.4mV       |
| $I_q$  | 60 $\mu$ A  |
| $I_b$  | 5pA         |
| UGBW   | 1MHz        |
| SR   | 2V/ $\mu$ s |
| 通道数  | 1、2、4       |
| <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/TLV9002">www.ti.com.cn/product/cn/TLV9002</a> |             |

## 设计备选运算放大器

| OPA375   |                              |
|--|------------------------------|
| $V_{CC}$   | 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 $\mu$ A                  |
| $I_b$  | 10pA                         |
| UGBW   | 10MHz                        |
| SR   | 4.75V/ $\mu$ s               |
| 通道数  | 1                            |
| <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA375">www.ti.com.cn/product/cn/OPA375</a> |                              |

## 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