

Analog Engineer's Circuit

交流耦合跨阻放大器电路

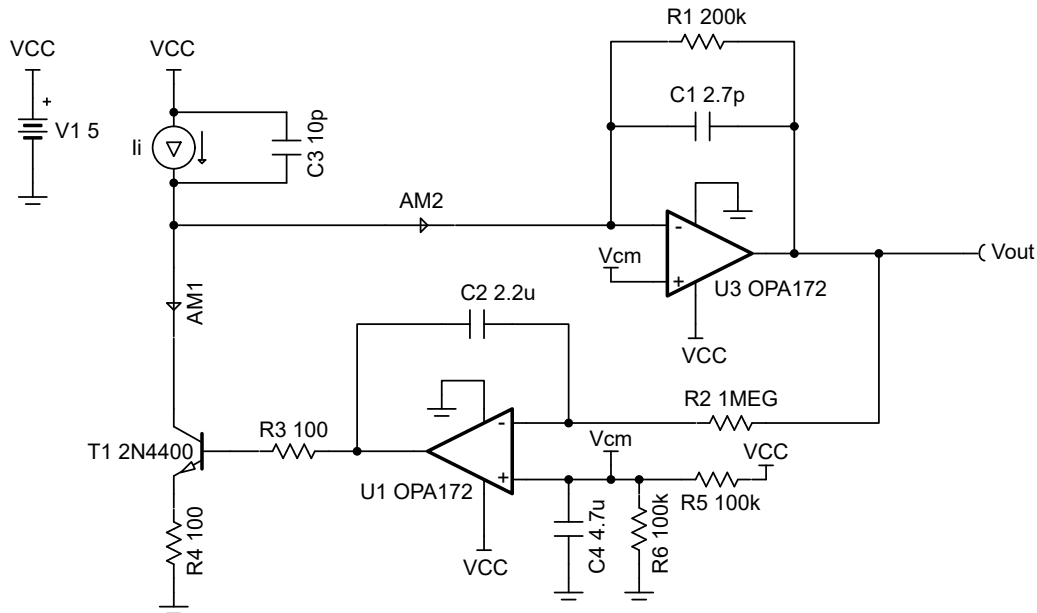


设计目标

输入电流		环境光电流	输出电压		目标带宽	电源	
I_{iMin}	I_{iMax}		V_{oMin}	V_{oMax}		V_{cc}	V_{ee}
$-10\mu A$	$10\mu A$	$100\mu A$	$0.5V$	$4.5V$	$300kHz$	$5V$	$0V$

设计说明

此电路使用一个配置为跨阻放大器的运算放大器来放大光电二极管的交流信号（用 I_i 和 C_3 表示）。通过在伺服环路中使用积分器，该电路可利用晶体管将直流电流从光电二极管中汇出，从而抑制直流信号。施加到同相输入的偏置电压可防止在没有输入电流的情况下输出在负电源轨上达到饱和。



设计说明

1. 使用具有低偏置电流的 JFET 或 CMOS 输入运算放大器降低直流误差。
2. 与反馈电阻器并联放置的电容会限制带宽，提高稳定性并有助于降低噪声。
3. 光电二极管的结电容随反向偏置电压的变化而变化，这会影响电路的稳定性。
4. 反向偏置光电二极管可以降低暗电流的影响。
5. 积分放大器的输出端需要一个电阻 (R_3)。
6. 必须使用发射极负反馈电阻 (R_4) 来帮助稳定 BJT。
7. 在线性运行区域内使用运算放大器。通常在 A_{OL} 测试条件下指定线性输出摆幅。

设计步骤

该电路的传递函数为：

$$V_{out} = -I_i \times R_1$$

1. 计算反馈电阻 R_1 的值以生成所需的输出摆幅。

$$R_1 = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{I_{iMax} - I_{iMin}} = \frac{4.5V - 0.5V}{10\mu A - (-10\mu A)} = 200k\Omega$$

2. 计算限制信号带宽要求的反馈电容器。

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times f_p} = \frac{1}{2\pi \times 200k\Omega \times 300kHz} = 2.65pF \approx 2.7pF \text{ (Standard Value)}$$

3. 计算保持电路稳定所需的放大器的增益带宽。

$$GBW = \frac{C_i + C_1}{2\pi \times R_1 \times C_1^2} = \frac{23pF + 2.7pF}{2\pi \times 200k\Omega \times (2.7pF)^2} = 2.97MHz$$

其中：

$$C_i = C_{pd} + C_b + C_d + C_{cm} = 10pF + 5pF + 4pF + 4pF = 23pF$$

假设：

- C_{pd} ：光电二极管的结电容
 - C_b ：BJT 的输出电容
 - C_d ：放大器的差分输入电容
 - C_{cm} ：反相输入的共模输入电容
4. 将积分器电路的截止频率 f_1 设置为 **0.1Hz**，以便只从光电二极管输出电流中减去接近直流的信号。截止频率由 R_2 和 C_2 设置。选择 R_2 为 **1MΩ**。

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times R_2 \times f_1} = \frac{1}{2\pi \times 1M\Omega \times 0.1Hz} = 1.59\mu F \approx 2.2\mu F \text{ (Standard Value)}$$

5. 选择 **100Ω** 作为 R_3 的值，以将 BJT 的电容与运算放大器隔离并稳定放大器。有关稳定性分析的更多信息，请参阅 [设计参考部分 \(2\)](#)。
6. 通过将积分器电路的输入共模电压设置为 $1/2 V_s$ 来偏置电路的输出。选择 **100kΩ** 作为 R_5 和 R_6 的值。

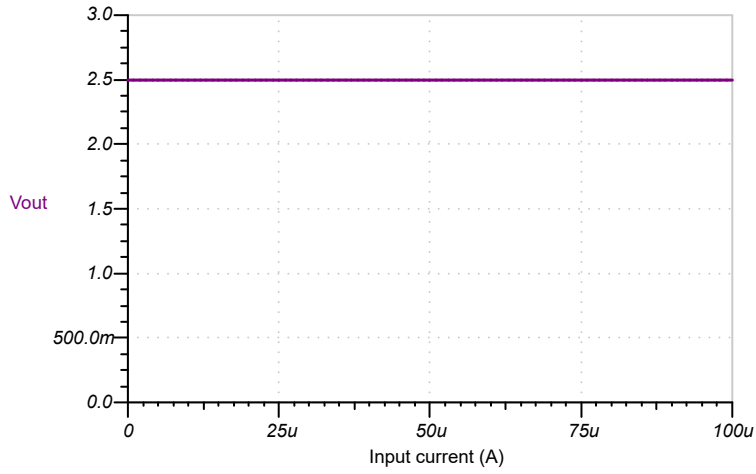
$$V_{cm} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times V_{cc} = \frac{100k\Omega}{100k\Omega + 100k\Omega} \times 5V = 2.5V$$

7. 计算电容器 C_2 以过滤电源和电阻噪声。将截止频率设置为 **1Hz**。

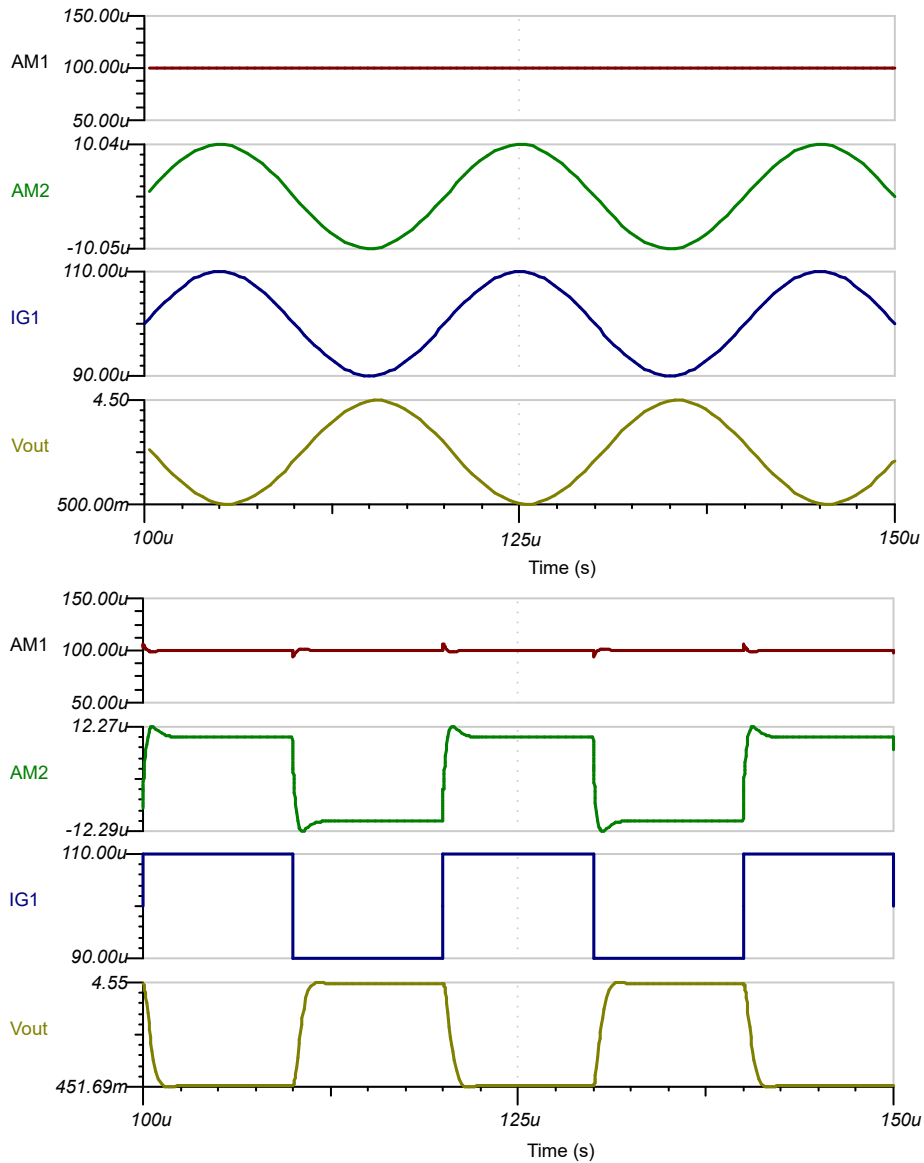
$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times (R_2 || R_3) \times 1Hz} = \frac{1}{2\pi \times (100k\Omega || 100k\Omega) \times 1Hz} = 3.183\mu F \approx 4.7\mu F$$

设计仿真

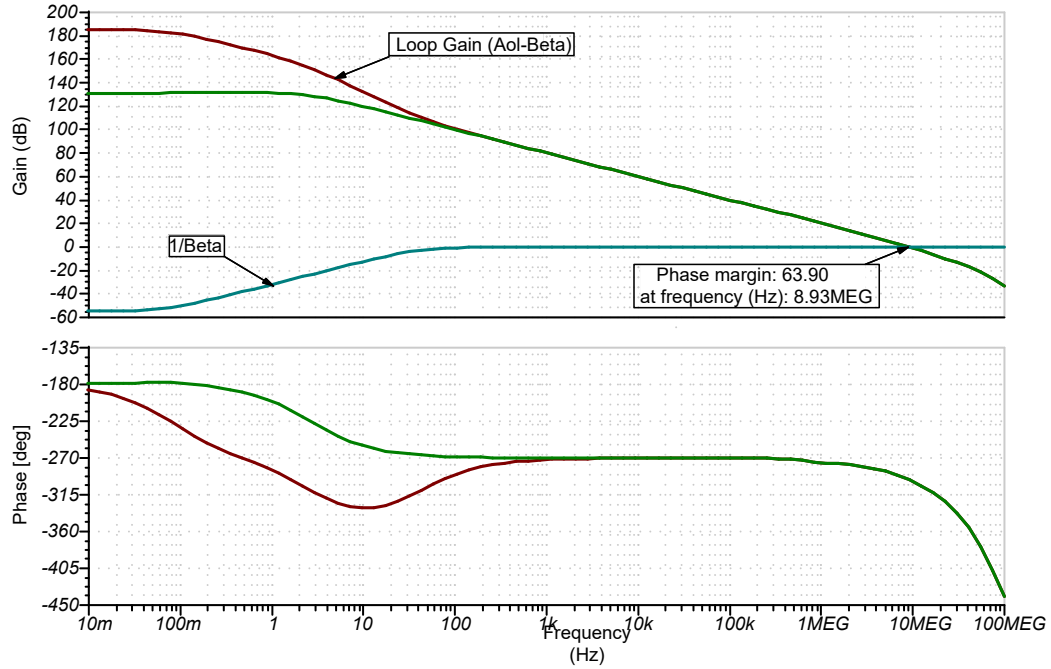
直流仿真结果



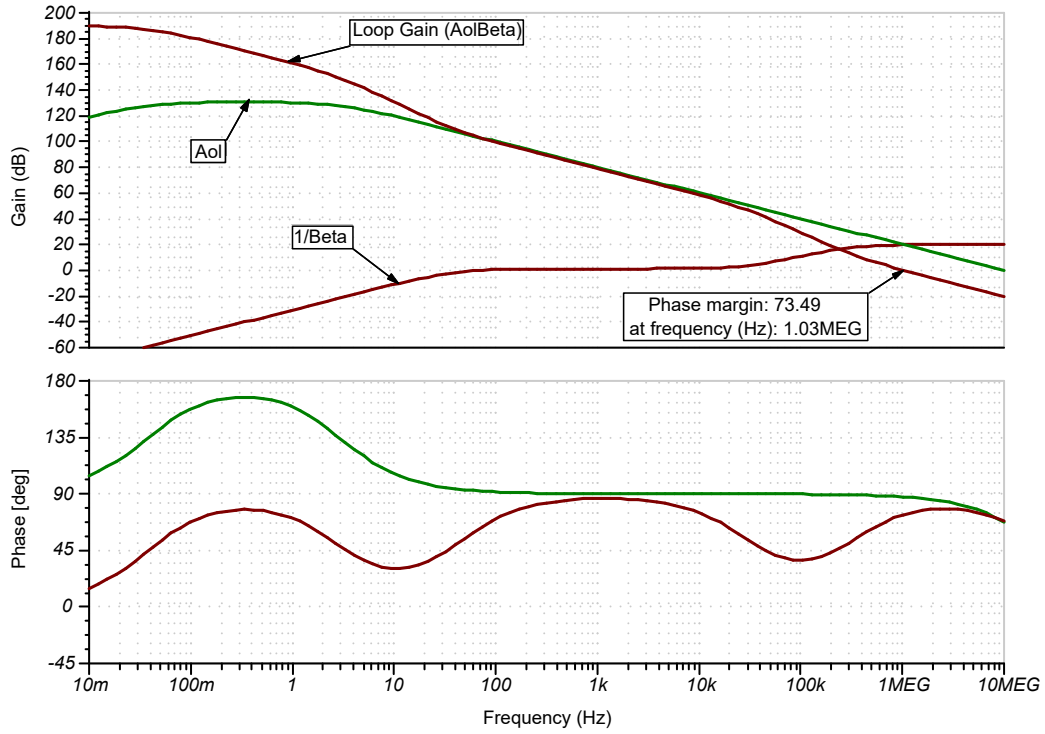
瞬态仿真结果



积分器开环稳定性



TIA 稳定性结果



设计参考资料

1. 有关 TI 综合电路库的信息，请参阅[模拟工程师电路说明书](#)。
2. [TI 高精度实验室](#)
3. : [SPICE 仿真文件](#)

设计特色运算放大器

OPA172	
V_{CC}	$\pm 2.25V$ 至 $\pm 18V$, 4.5V 至 36V
V_{inCM}	(V -) - 0.1V 至 (V+) - 2V
V_{out}	轨到轨
V_{os}	0.2mV
I_q	1.6mA
I_b	8pA
UGBW	10MHz
SR	10V/ μs
通道数量	1、2、4
www.ti.com.cn/product/cn/OPA172	

设计备选运算放大器

参数搜索	
V_{SS}	5V
V_{inCM}	轨到轨
V_{out}	轨到轨
I_b	CMOS 架构
UGBW	> 2.97MHz
通道数量	2
等级	通用
www.ti.com 运算放大器参数搜索	

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司