

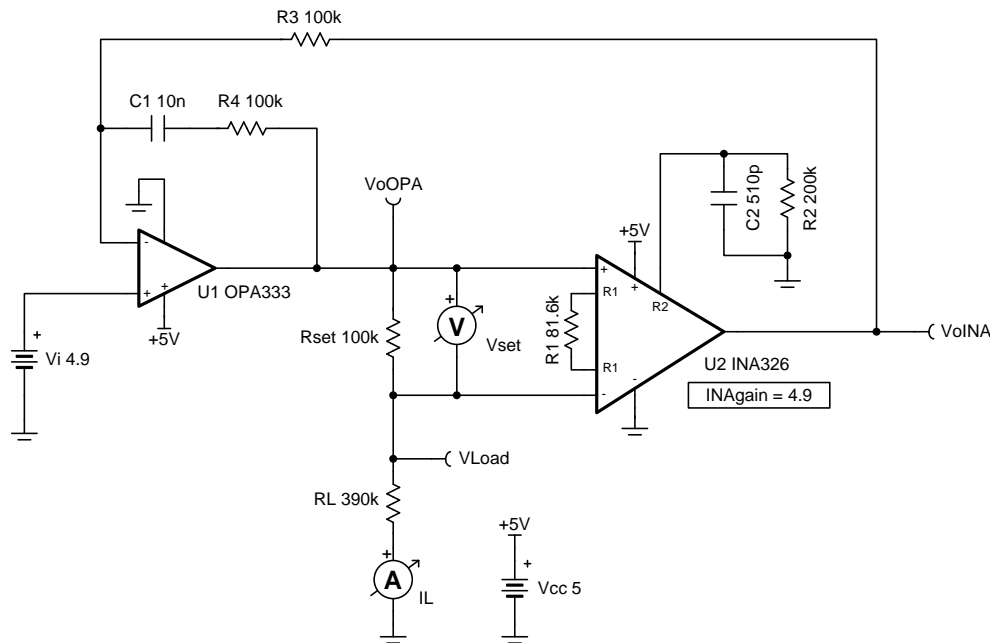
低电平电压-电流转换器电路

设计目标

输入		输出		电源		负载电阻 (R_L)	
V_{iMin}	V_{iMax}	I_{LMin}	I_{LMax}	V_{cc}	V_{ee}	R_{LMin}	R_{LMax}
0.49V	4.9V	1 μ A	10 μ A	5V	0V	0 Ω	390k Ω

设计说明

该电路可以为负载 R_L 提供精确的低电平电流 I_L 。该设计由 5V 单电源供电，并使用一个精密低漂移运算放大器和一个仪表放大器。经过简单修改即可更改电压-电流 (V-I) 转换器的范围和精度。



设计说明

1. 电压顺从性取决于运算放大器线性输出摆幅（请参阅数据表 A_{oL} 测试条件）和仪表放大器线性输出摆幅。有关更多信息，请参阅 [仪表放大器的共模范围计算器](#)。
2. 电压顺从性与 R_{LMin} 、 R_{LMax} 和 R_{set} 一起决定了 I_L 范围。
3. 检查运算放大器和仪表放大器输入共模电压范围。
4. 必须执行稳定性分析，以便为稳定的运行选择 R_4 和 C_1 。
5. 对于每个设计，用于选择 R_4 和 C_1 的环路稳定性分析将是不同的。所示的补偿仅适用于该设计中使用的阻性负载范围。其他类型的负载、运算放大器或仪表放大器或两者需要不同的补偿。有关更多运算放大器稳定性资源，请参阅 [设计参考](#) 部分。

设计步骤

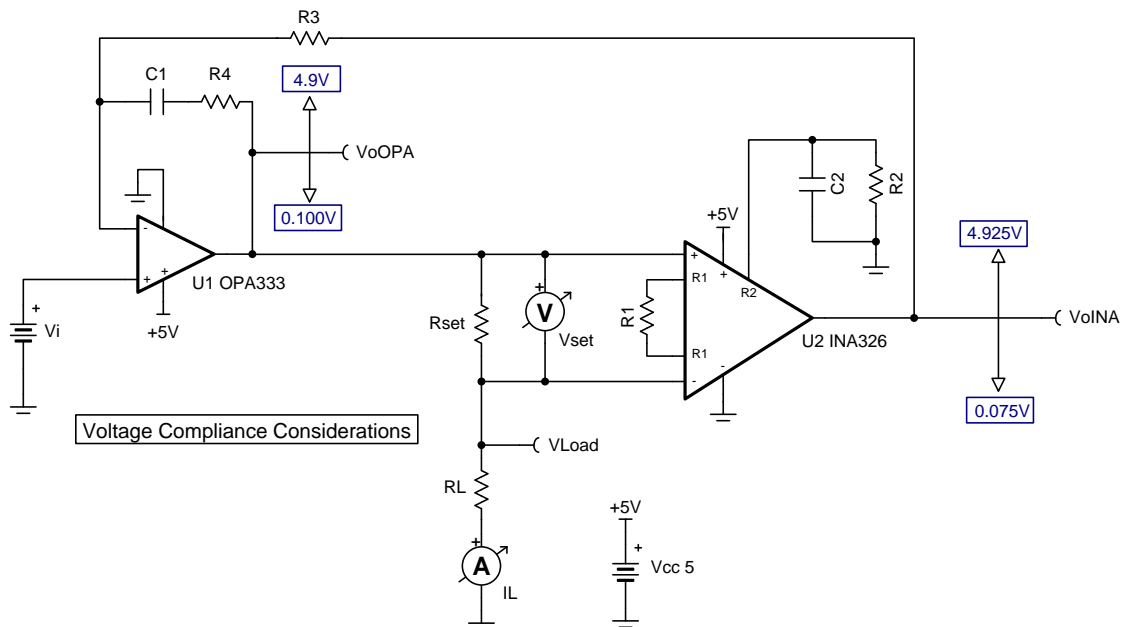
1. 根据电压顺从性选择 R_{set} 并检查 I_{LMin} 。

$$I_{LMax} = \frac{V_{oOPAMax}}{R_{set} + R_{LMax}}$$

$$10\mu A = \frac{4.9V}{R_{set} + 390k\Omega} \rightarrow R_{set} = 100k\Omega$$

$$I_{LMin} = \frac{V_{oOPAMin}}{R_{set} + R_{LMin}}$$

$$I_{LMin} = \frac{0.1V}{100k\Omega + 0\Omega} = 1\mu A$$



2. 计算仪表放大器增益 G 。

$$V_{setMin} = I_{LMin} \times R_{set} = 1\mu A \times 100k\Omega = 0.1V$$

$$V_{setMax} = I_{LMax} \times R_{set} = 10\mu A \times 100k\Omega = 1V$$

$$G = \frac{V_{iMax} - V_{iMin}}{V_{setMax} - V_{setMin}}$$

$$G = \frac{4.9V - 0.49V}{1V - 0.1V} = 4.9$$

3. 为 INA326 仪表放大器增益 G 选择 R_1 。使用数据表建议的 $R_2 = 200k\Omega$ 和 $C_2 = 510pF$ 。

$$G = 2 \times \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$R_1 = \frac{2 \times R_2}{G}$$

$$R_1 = \left(\frac{2 \times 200k\Omega}{4.9} \right) = 81.6327k\Omega \approx 81.6k\Omega$$

4. 该电路的最终传递函数遵循：

$$I_L = \frac{V_i}{G \times R_{set}}$$

$$I_L = \frac{V_i}{4.9 \times 100k\Omega} = \frac{V_i}{490k\Omega}$$

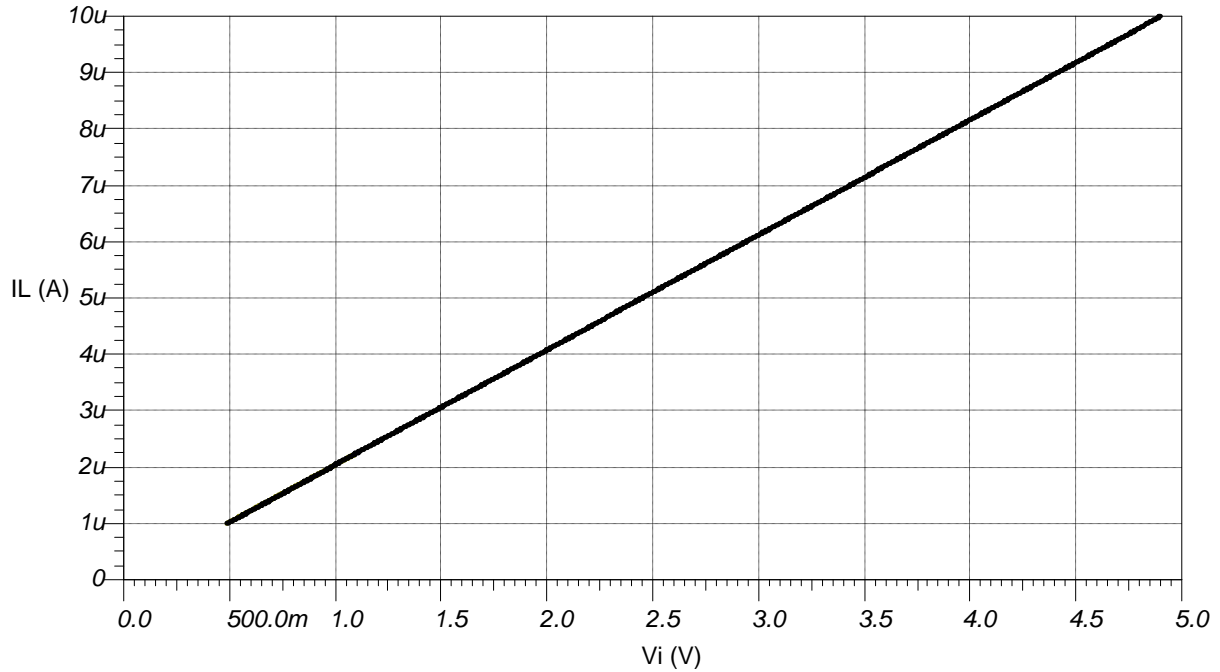
$$V_i = 0.49V \rightarrow I_L = 1\mu A$$

$$V_i = 4.9V \rightarrow I_L = 10\mu A$$

设计仿真

直流仿真结果

V_i	R_L	I_L	V_{oOPA}	V_{oOPA} 顺从性	V_{oINA}	V_{oINA} 顺从性
0.49V	0Ω	0.999627μA	99.982723mV	100mV 至 4.9V	490.013346mV	75mV 至 4.925V
0.49V	390kΩ	0.999627μA	489.837228mV	100mV 至 4.9V	490.013233mV	75mV 至 4.925V
4.9V	0Ω	9.996034μA	999.623352mV	100mV 至 4.9V	4.900016V	75mV 至 4.925V
4.9V	390kΩ	9.996031μA	4.898075V	100mV 至 4.9V	4.900015V	75mV 至 4.925V



设计参考资料

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。

请参阅 TINA-TI™ 电路仿真文件 [SBOMAT8](#)。

请参阅 TIPD107，<http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIPD107>。

请参阅[解决运算放大器稳定性问题 - E2E 常见问题解答](#)。

请参阅 [TI 高精度实验室 - 运算放大器](#)。

设计采用的运算放大器

OPA333	
V_{SS}	1.8V 至 5.5V
V_{inCM}	轨至轨
V_{out}	轨至轨
V_{os}	2 μ V
I_q	17 μ A/通道
I_b	70pA
UGBW	350kHz
SR	0.16V/ μ s
通道数	1、2
http://www.ti.com.cn/product/cn/opa333	

设计采用的仪表放大器

INA326	
V_{SS}	2.7V 至 5.5V
V_{inCM}	轨至轨
V_{out}	轨至轨
V_{os}	20 μ V
I_q	2.4mA
I_b	0.2nA
UGBW	1kHz (由 1kHz 滤波器设置)
SR	0.012V/ μ s (由 1kHz 滤波器设置)
通道数	1
http://www.ti.com.cn/product/cn/INA326	

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 ti.com.cn 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司