

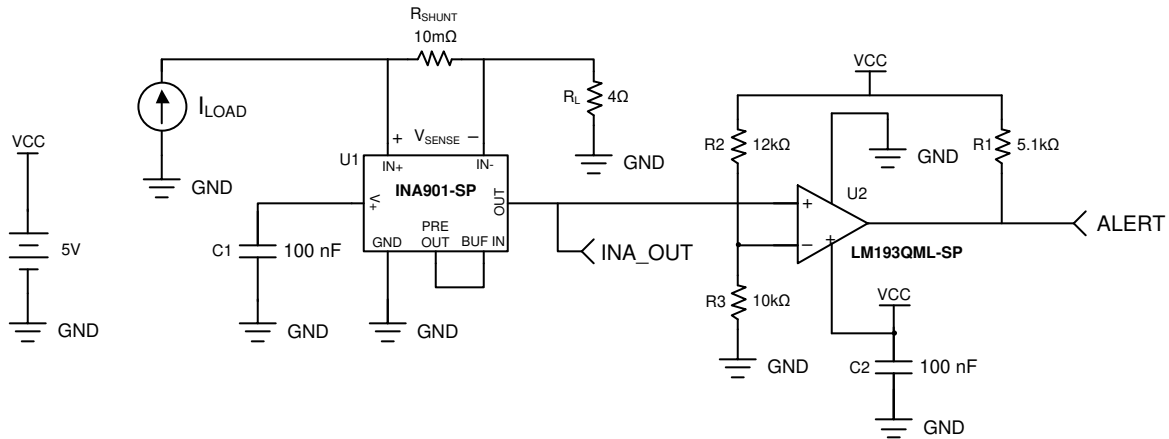
Carolus Andrews

设计目标

| 输入 | | 过流条件 | 输出 | 电源 | 响应时间 | 电离总剂量 | 单粒子抗扰度 |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|-------|-------------|-------------|------------------------------------|
| $I_{load, 最小值}$ | $I_{load, 最大值}$ | I_{OC_TH} | V_{out_OC} | V_s | t_{delay} | TID | SEL |
| 5A | 10A | 11A | 2.2V | 5V | < 5 μ s | 50krad (Si) | 75MeV \times cm ² /mg |

设计说明

这是一种单向电流检测解决方案，通常称为过流保护 (OCP)，可提供过流警报信号以关闭超过阈值电流的系统。在该特定设置中，正常工作负载为 5A 至 10A，过流阈值定义为 11A (I_{OC_TH})。电流分流监控器和比较器由 5V 单电源轨供电。OCP 可以应用于高侧和低侧拓扑。此电路中采用的是一个高侧实施解决方案，其中 R_L 代表 4 Ω 的纯阻性系统负载。此电路可用于遥测、健康监控和系统诊断等各种电源应用。除了此功能之外，此电路还实现了 [INA901-SP](#)，它是一种具有耐辐射加固保障 (RHA)，50krad (Si) 能力且剂量率低的器件，且在 125°C 下单粒子锁定 (SEL) 抗扰度可达 75MeV \times cm²/mg。比较器功能由 [LM193QML-SP](#) 实现，但如需额外的比较器，这里也可以使用 [LM139AQML-SP](#)。



设计注意事项

- 对于没有迟滞的精确比较器应用，保持电源稳定，并将噪声和干扰降至最低非常重要。为此，使用去耦电容器 C1 和 C2 以确保器件电源稳定。将去耦电容器尽可能靠近各自器件的电源引脚放置。如果使用，也应将去耦电容器放在负电源上。
- 如果需要更大的动态电流测量范围和更高的跳闸点，可以将 INA901-SP OUT 引脚到接地之间的分压器与进入 LM193QML-SP 输入的分压器输出相结合。确保 INA901-SP 的设计范围保持在 LM193QML-SP 的输入共模规格范围内。
- 如果电路中需要额外的接地短路保护功能，与输入引脚串联的保险丝可以提供此功能，但电阻器不可用于此目的。在 INA901-SP 的输入引脚上添加电阻器将从根本上改变放大器的增益。然而，内部电阻器的容差会波动高达 30%（这些电阻器会互相匹配，而不是绝对值），因此这种增益变化会因器件而异，不能算是可靠的设计。

设计步骤

- 满量程范围：**确认需要监测的条件的负载范围。应根据输入检测电压允许的最大电流范围（包括过流值）来选择 R_{SHUNT}。另外还要考虑测量下端的偏移电压，以及在 LM193QML-SP 的输入引脚上维持有效的共模电压。采用 INA901-SP 进行设计时，为了实现最佳性能，应确保所选分流器的 I_{MIN} 条件产生 >20mV 的检测电压，以符合《INA901-SP 耐辐射、-15V 至 65V 共模电压、单向电流分流监控器》数据表中 V_{SENSE} 和共模电压作用下的精度范围部分要求。
- 增益选项：**对于 INA901-SP，只有 20V/V 选项可用，因此对于此设计，此条件是固定的。
- 选择分流电阻器：**在给定的设计条件下，使用以下公式来选择合适的分流电阻器。请注意，电源电压要降低 200mV，以确保器件满足摆幅至轨限制。数值来自于之前定义的使用案例：

$$R_{SHUNT,MAX} < \frac{V_s - 0.2}{I_{LOAD,MAX} \times GAIN}$$

$$R_{SHUNT,MAX} < \frac{5 - 0.2}{11 \times 20} = 21.8m\Omega$$

该设计中选用电阻值 10mΩ。请注意，虽然较大的分流电阻器可以提高满量程范围的利用率，但是分流电阻器上的热约束也会随着电阻增大而按比例增加。选择较大的值也会增加过流跳闸点的电压，这可能会对满足 LM193QML-SP 的共模要求造成挑战。

- 设置过流点：**根据 INA901-SP，R_{SHUNT} 的值现已确定，因此 INA901-SP 在过流点处的输出为：

$$V_{OUT_OC} = I_{LOAD_OC} \times R_{SHUNT} \times GAIN = 11A \times 10m\Omega \times 20 = 2.2V$$

过流条件由 R2 和 R3 之间的分压器针对前面提到的点来设置。选择 R3 的值并计算所需的电阻器 R2。这里 R3 选择为 10kΩ：

$$\frac{10k\Omega}{10k\Omega + R2} \times V_{CC} = 2.2V$$

$$R2 = 12.73k\Omega$$

请注意，LM193QML-SP 要求在 5V 电源运行时至少有一个输入为 0V 至 3V 之间，以便满足输入共模要求。该节点保持在恒定 2.2V，满足所有比较值的此项要求。

通常，计算得出的电阻器值并不是直接与可选的电阻器相对应。在这里，12.73kΩ 并不是标准值，因此选择了最接近的标准值 12kΩ。结合前面的公式可以找到基于电阻器值的实际过流点。

$$I_{LOAD_{OC}} = \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) \frac{V_{CC}}{R_{SHUNT} \times GAIN} = \left(\frac{10k\Omega}{10k\Omega + 12k\Omega} \right) \left(\frac{5V}{10m\Omega \times 20} \right) = 11.36A$$

- 偏移误差检查：**检查最小电流测量值是否明显高于电流分流监控器输入偏移电压。建议的最大偏移误差 eVOS 为 10%。要达到更严格的误差目标，可以减小 eVOS 的值：

$$I_{DEVICE_MIN} = \frac{V_{OS, worst\ case}}{\frac{eV_{OS}}{100} \times R_{SHUNT}} = \frac{3.5mV}{\frac{10}{100} \times 0.01\Omega} = 3.5A$$

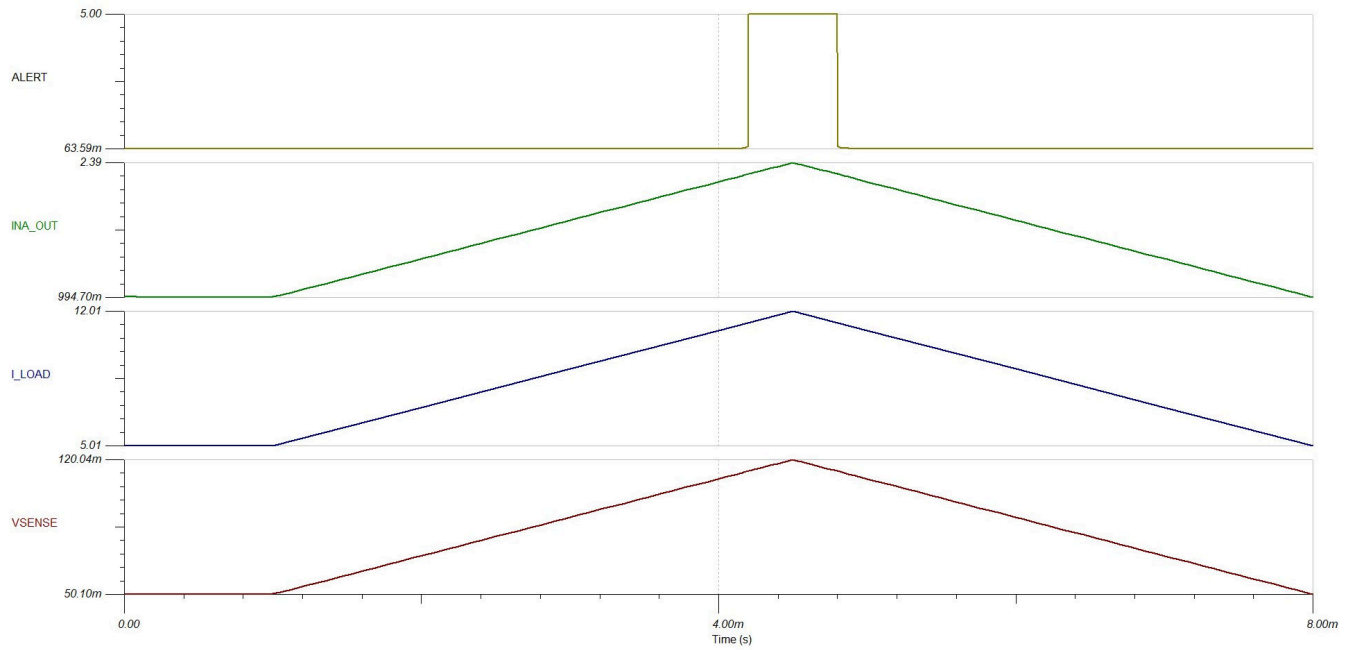
该值意味着，当所选分流电阻器的测量电流为 3.5A 时，偏移电压将会对测量产生 10% 的误差。

设计仿真

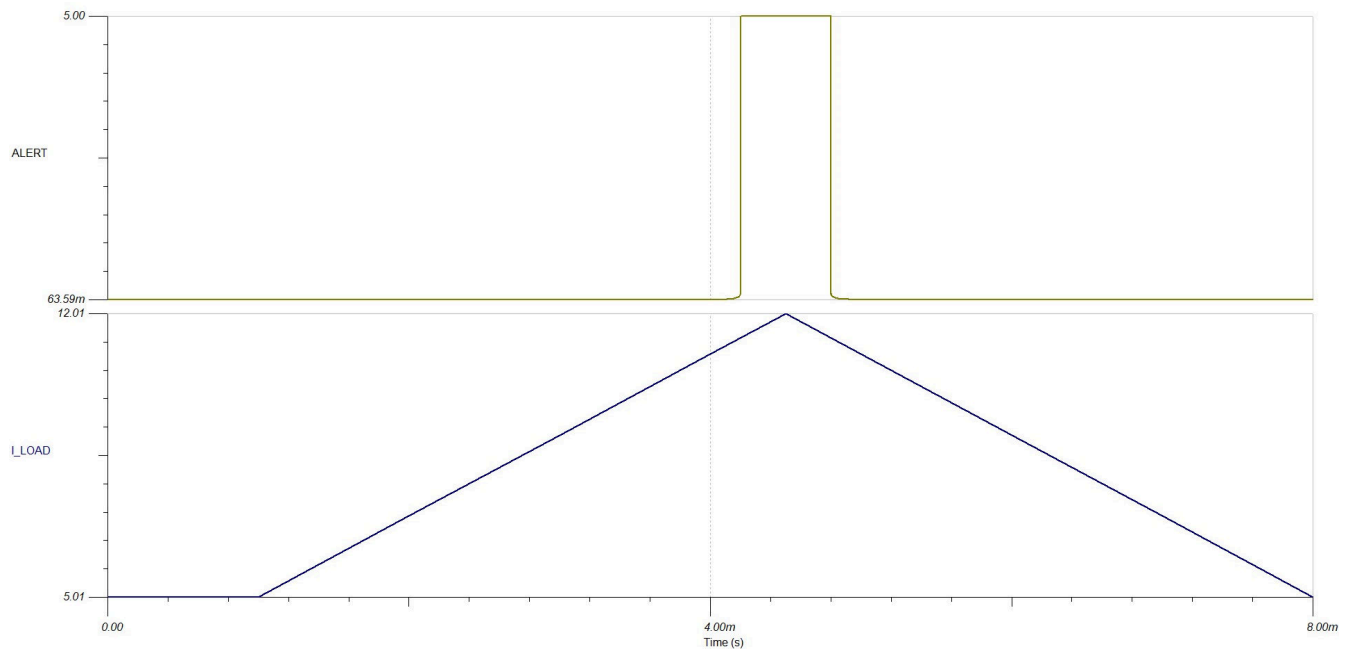
瞬态仿真结果

高侧 OCP 仿真结果

当电流跃迁高于过渡触发点时，首个仿真检查电路的斜升响应。

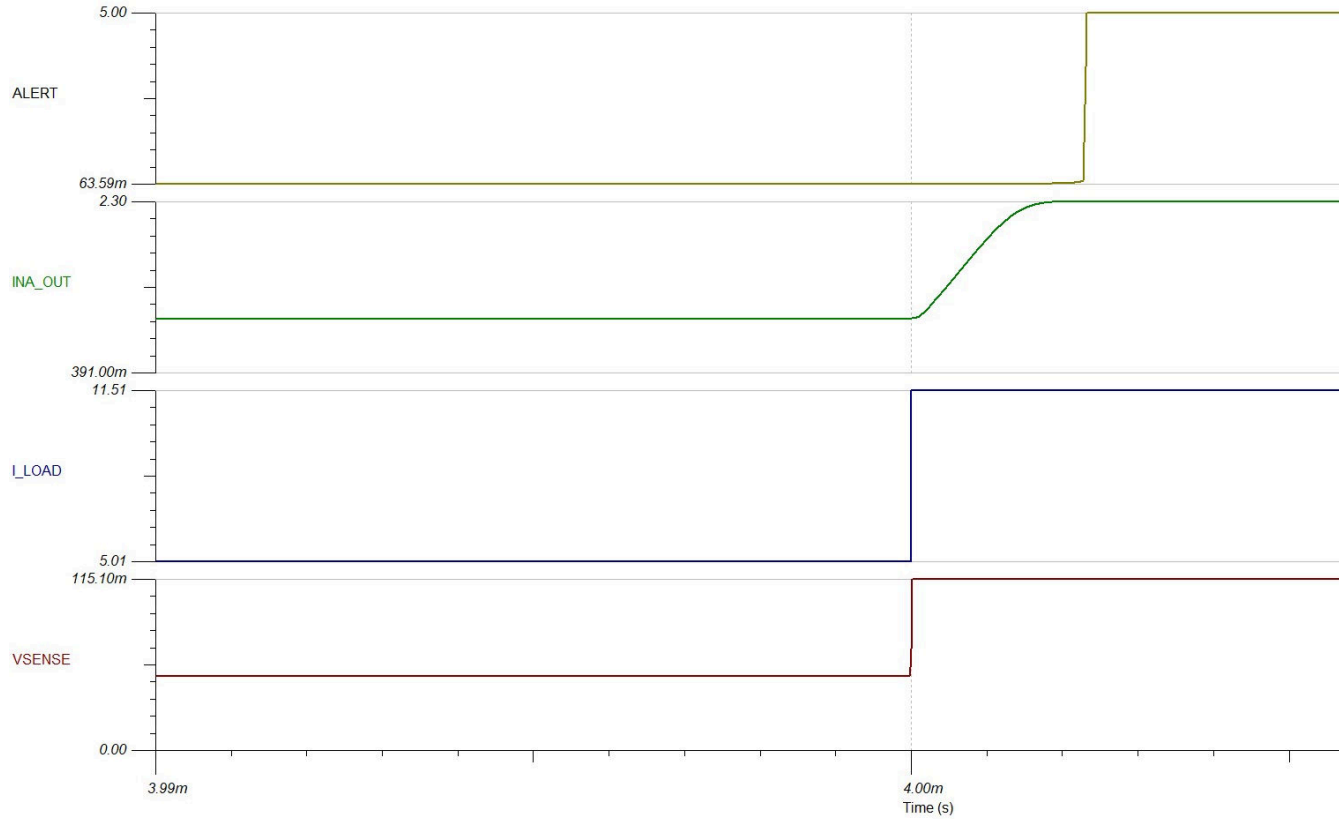


INA901-SP 过流斜升响应



INA901-SP 过流斜升响应 (放大版)

接着，检查电路的延迟响应，阶跃响应在 4.0ms 表明电路对事件的响应大约晚 2.5 μ s，因此满足延迟响应：



INA901-SP 过流保护阶跃响应

设计参考资料

请观看“TI 精密实验室”的 [电流检测放大器](#) 系列视频。

设计特色电流检测放大器

| INA901-SP | |
|---|----------------------------|
| V_S | 2.7V 至 16V |
| V_{CM} | -15V 至 65V |
| V_{OUT} | GND+3mV 至 V_S -50mV, 典型值 |
| V_{OS} | $\pm 500 \mu V$, 典型值 |
| I_q | 350 μA , 典型值 |
| I_B | $\pm 8 \mu A$, 典型值 |
| TID 特性 (无 ELDRS) | 50krad(Si) |
| 针对 LET 的 SEL 抗扰度 | 75MeV-cm ² /mg |
| https://www.ti.com.cn/product/cn/INA901-SP | |

对于不太严苛的辐射环境，TI 还提供了 [INA240-SEP](#)，该器件在 125°C 时的单粒子闩锁 (SEL) 抗扰度可达 43MeV-cm²/mg。该器件在高达 30krad(Si) 的条件下无 ELDRS，并且每个晶圆批次的电离总剂量 RLAT (TID) 高达 20krad(Si)：

表 2. 设计备选电流检测放大器

| INA240-SEP | |
|---|----------------------------|
| V_S | 2.7V 至 5.5V |
| V_{CM} | - 4V 至 80V |
| V_{OUT} | GND+1mV 至 V_S -50mV, 典型值 |
| V_{OS} | $\pm 5 \mu V$, 典型值 |
| I_q | 1.8mA, 典型值 |
| I_B | $\pm 90 \mu A$, 典型值 |
| TID 特性 (无 ELDRS) | 30krad (Si) |
| 针对 LET 的 SEL 抗扰度 | 43MeV-cm ² /mg |
| https://www.ti.com.cn/product/cn/INA240-SEP | |

表 3. 设计备选比较器

| | TLV1704-SEP | LM139AQL-SP |
|--------------------|---|---|
| V_S | 2.2V 至 36V | 2V 至 36V |
| V_{CM} | 轨至轨 | 0V 至 34V |
| V_{OUT} | 集电极开路, 轨到轨 | 集电极开路 |
| V_{OS} | 500 μV | 2mV |
| I_q | 55 μA /通道 | 200 μA /通道 |
| $t_{PD(HL)}$ | 460ns | 2.50 μs |
| TID 特性 (无 ELDRS) | 30krad (Si) | 100krad (Si) |
| 针对 LET 的 SEL 抗扰度 | 43MeV-cm ² /mg | SEL 抗扰度 (双极工艺) |
| | https://www.ti.com.cn/product/cn/TLV1704-SEP | https://www.ti.com.cn/product/cn/LM139AQL-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