

Analog Engineer's Circuit

采用窗口比较器的双向电流检测电路



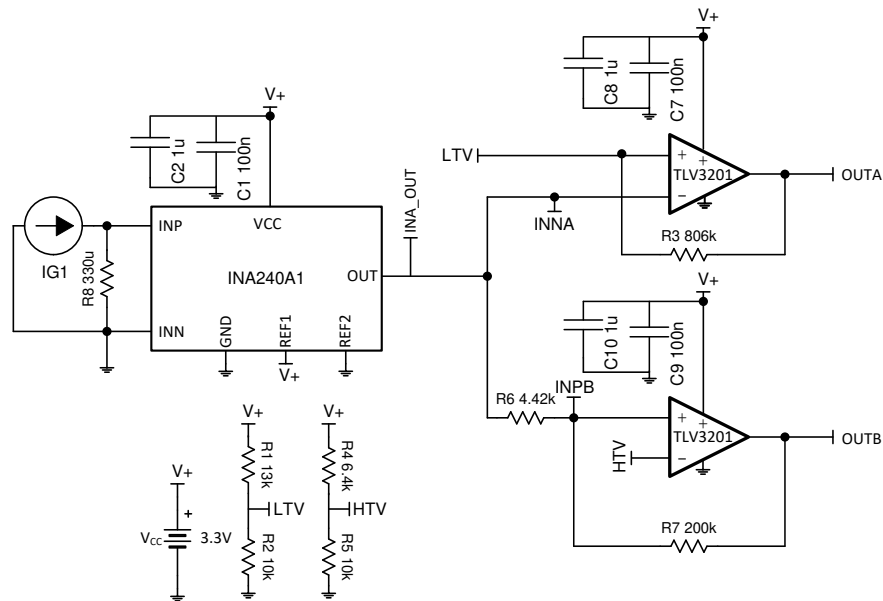
Chuck Sins

设计目标

系统电流电平				电源	
OC 反向阈值	OC 反向恢复阈值	OC 正向阈值	OC 正向恢复阈值	V+	V-
IG1 < -35A	IG1 > -31A	IG1 > 100A	IG1 < 90A	3.3V	0V

设计说明

这款双向电流检测解决方案采用一个电流检测放大器和一个高速双通道比较器，在输入电流 (IG1) 升至 100A 以上或降至 -35A 以下时，通过轨到轨输入共模范围在比较器输出端 (OUTA 和 OUTB) 产生过流 (OC) 警报信号。在此实现方案中，两个过流警报信号均为高电平有效，因此当高于 100A 或低于 -35A 阈值时，比较器输出变为高电平。两个比较器均执行外部迟滞，因此在电流降低 10% (90A 和 -31A) 时，比较器输出会恢复为逻辑低电平状态。当下方电路中的分流电阻器 R8 接地时，此电路适用于在高达 INA 的共模电压范围内进行高侧电流检测。



设计说明

1. 选择具有轨到轨输入共模范围的比较器。
2. 选择电流检测放大器，该放大器应具有低失调电压和符合系统要求的共模输入范围。

设计步骤

- 要确定比较器阈值电压，首先计算对应于所需电流阈值的 INA240A1 输出电压。计算取决于 INA240 的增益 (A1、A2、A3、A4 分别为 20、50、100、200)、输入电流 (IG1) 和检测电阻 (R8)，以及输入电流为 0 时的基准电压 (VREF)。根据 INA240 数据表中的第 8.3.2 节，R8 是 INA240 的差分输入电压与最大输入电流的函数。鉴于该系统中的输入电流摆幅高于 100A，通过使 R8 保持较小的值，可以降低 R8 上的功率耗散。

$$INA_OUT = VREF + G \times (INP - INN)$$

$$INP - INN = IG1 \times R8$$

$$VREF = \frac{(V+) - 0}{2} = \frac{3.3V}{2} = 1.65V$$

使用这些公式和所需的电流阈值，可生成下表：

说明		IG1	INA-OUT
V _{H, CHB}	正向过流阈值	100A	1.65V + 20 × (100A × 0.33mΩ) = 2.31V
V _{L, CHB}	正向恢复阈值	90A	1.65V + 20 × (90A × 0.33mΩ) = 2.244V
V _{H, CHA}	反向过流阈值	-35A	1.65V + 20 × (-35A × 0.33mΩ) = 1.419V
V _{L, CHA}	反向恢复阈值	-31.5A	1.65V + 20 × (-31.5A × 0.33mΩ) = 1.4421V

首先，重点关注顶部比较器 (通道 A)，它采用反相比较器配置。当反向电流低于 -35A 时，该比较器摆动至逻辑高电平；当反向电流恢复至 -31.5A 时，该比较器返回至逻辑低电平。这些电流电平分别对应于 1.419V 和 1.4421V 的电压电平。

- 为 R2 (电阻分压器中的底部电阻器) 假设一个值。在该电路中，选择了 10kΩ 电阻。
- 通过分析 INNA = V_L 和 INNA = V_H 时的电路，根据 V₊、V_L、V_H、R₂、R₃ 推导出 R1 的两个公式：

$$R_1 = \left(\frac{V_+}{V_L} - 1 \right) \left(\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$R_1 = \frac{V_+ - V_H}{\frac{V_H}{R_2} - \frac{V_+ - V_H}{R_3}}$$

- 将这两个公式设置为彼此相等，然后求解 R₃。

$$\left(\frac{V_+ - V_H}{V_L} - V_H \right) R_3^2 + \left(\frac{V_+ - V_H}{V_L} + V_+ - V_H \right) R_2 R_3 = 0$$

$$\left(\frac{3.3 - 1.4421}{1.419} - 1.4421 \right) R_3^2 + \left(\frac{3.3 - 1.4421}{1.419} + 3.3 - 1.4421 \right) (10k) R_3 = 0$$

$$R_3 = 0, \quad R_3 = 804.29k\Omega$$

最接近的标准 1% 电阻值为 806kΩ。

5. 使用从 3 中推导的两个公式中的任一个求解 R_1 :

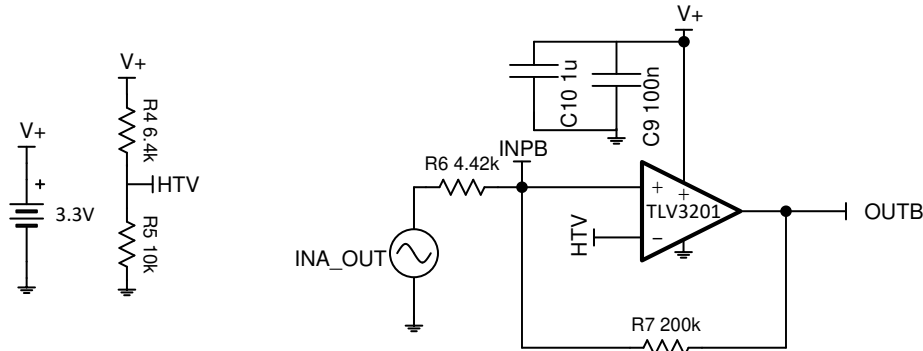
$$R_1 = \left(\frac{V_+}{V_L} - 1 \right) \left(\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$R_1 = \left(\frac{3.3}{1.419} - 1 \right) \left(\frac{(10 \text{ k}\Omega)(806 \text{ k}\Omega)}{10 \text{ k}\Omega + 806 \text{ k}\Omega} \right)$$

$$R_1 = 13.093 \text{ k}\Omega$$

最接近的标准 1% 电阻值为 13k Ω 。

下一步重点关注底部比较器 (通道 B)，它采用同相配置。当正向电流高于 100A 时，该比较器摆动至逻辑高电平；当正向电流恢复至 90A 时，该比较器返回至逻辑低电平。这些电流电平分别对应于 2.31V 和 2.244V 的电压电平。



当比较器输出处于逻辑低电平状态和高阻抗状态 (SBOA306 使用开漏比较器) 时，采用比较器的高侧电流检测电路推导出 V_{TH} (同相引脚上的电压) 的两个公式。然后将这些公式设置为彼此相等，从而生成一个二次方程来求解 R_6 。由于 TLV3202 是推挽器件，输出会进入逻辑高电平状态而不是高阻抗状态。因此，上拉电阻值为 0，且 V_{PU} 为 V_+

6. 重写二次方程以匹配该电路：

$$0 = V_+ \times R_6^2 + (V_+ \times R_7 + V_L \times (R_7) - V_H \times R_7) \times R_6 + (V_L - V_H) \times (R_7^2)$$

$$0 = 3.3 \times R_6^2 + (3.3 \times R_7 + 2.244 \times (R_7) - 2.31 \times R_7) \times R_6 + (2.244 - 2.31) \times (R_7^2)$$

7. 为 R_7 选择一个值。该电阻器决定了比较器的负载电流，因此其电阻值很大。在该电路中，假设 R_7 为 200k Ω 。

$$0 = 3.3 \times R_6^2 + (3.3 \times 200\text{k} + 2.244 \times (200\text{k}) - 2.31 \times 200\text{k}) \times R_6 + (2.244 - 2.31) \times (200\text{k})^2$$

$$R_6 = 4.47 \text{ k}\Omega$$

最接近的标准 1% 电阻值为 4.42k Ω 。

8. 使用 R_6 计算 V_{TH} 。

$$V_{TH} = V_H \times \left(\frac{R_7}{R_6 + R_7} \right) = 2.31 \times \frac{200\text{k}}{4.42\text{k} + 200\text{k}} = 2.26\text{V}$$

9. 为 R_5 选择一个值。在该电路中， R_5 选择为 10k Ω 。

$$V_{TH} = V_H \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 9.802\text{V}$$

10. 求解 R_4 。

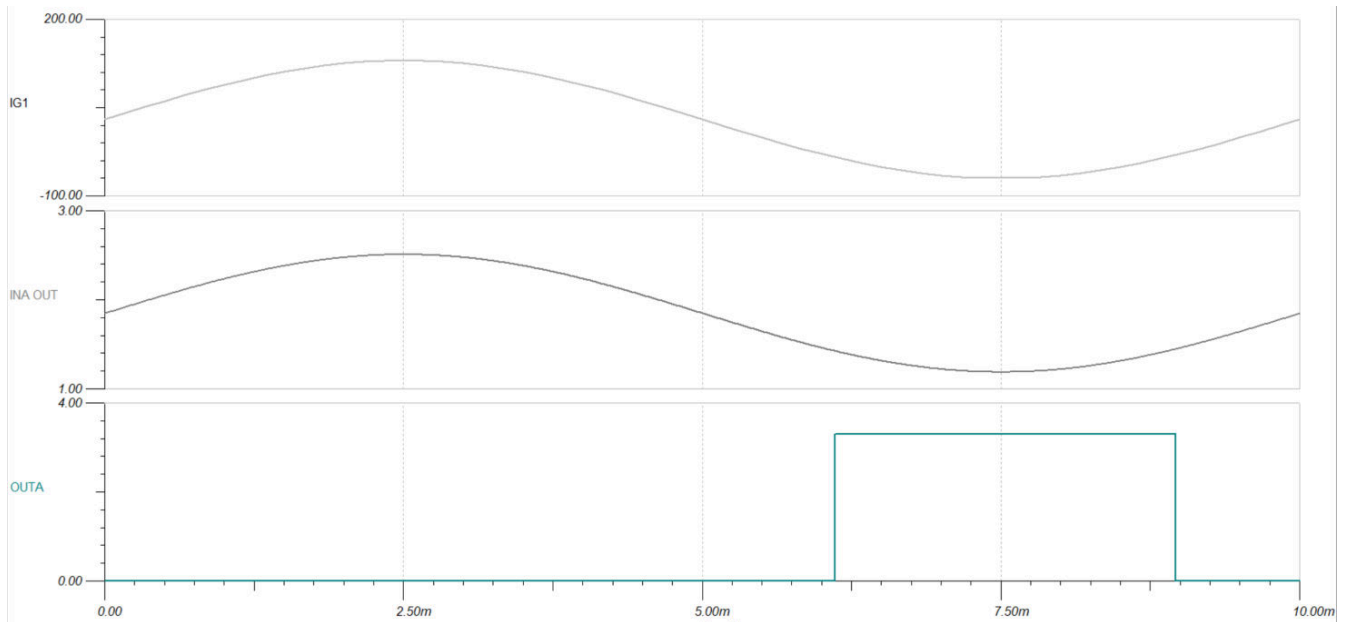
$$R_4 = \frac{R_5 \times (V_S - V_{TH})}{V_{TH}} = \frac{10k \times (3.3 - 2.6)}{2.26} = 4.602 \text{ k}\Omega$$

最接近的标准 1% 电阻值为 4.64k Ω 。

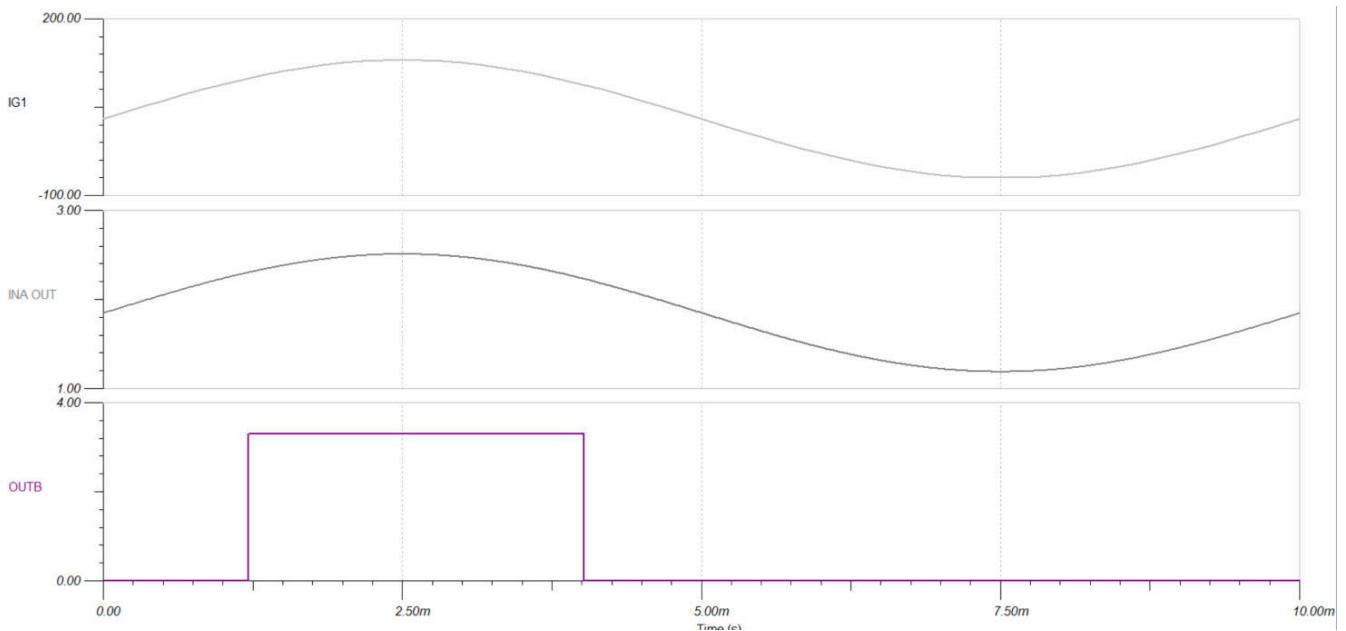
设计仿真

瞬态仿真结果

以下仿真结果对 IG1 使用 -70A 至 130A、100Hz 正弦波。



通道 A



通道 B

设计参考资料

德州仪器 (TI), [SBOMB05 SPICE 文件](#), 电路软件

设计特色比较器

TLV320x	
V_S	2.7V 至 5.5V
V_{inCM}	超过任一电源轨 200mV
V_{OUT}	推挽, 轨到轨
V_{OS}	1mV
I_q	40 μ A/通道
$t_{PD(HL)}$	40ns
通道数	1、2
TLV3201-Q1 和 TLV3202-Q1	

设计特色运算放大器

INA240	
V_S	1.6V 至 5.5V
V_{inCM}	-4V 至 80V
V_{OUT}	轨到轨
V_{OS}	5 μ V
V_{OS} 漂移	50nV/ $^{\circ}$ C
I_q	260ns
增益选项	20V/V、50V/V、100V/V、200V/V
INA240	

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司