

Analog Engineer's Circuit

采用比较器的高侧电流检测电路

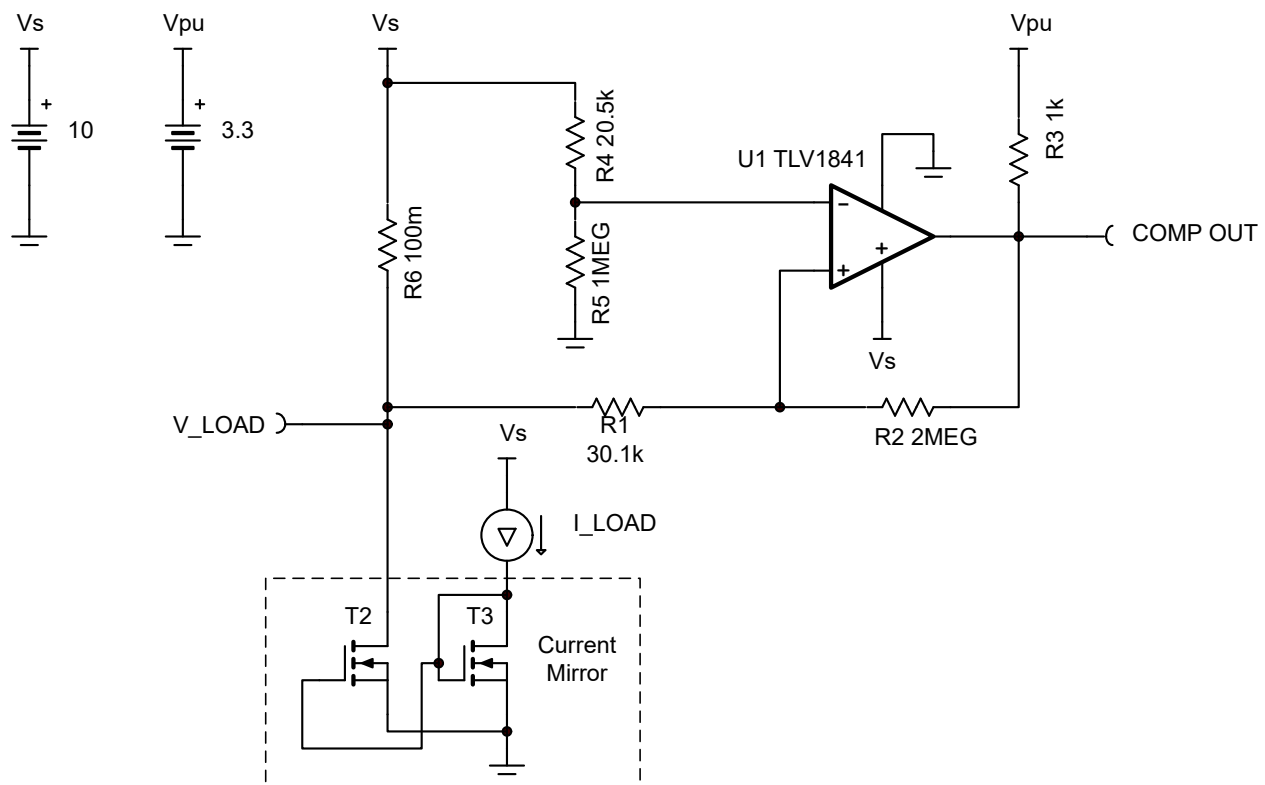


设计目标

负载电流 (I_L)		系统电源 (V_S)	比较器输出状态	
过流 (I_{OC})	恢复电流 (I_{RC})	典型值	过流	正常运行
1A	0.5A	10V	$V_{OL} < 0.4V$	$V_{OH} = V_{PU} = 3.3V$

设计说明

该高侧电流检测电路使用一个具有轨到轨输入共模范围的比较器，如果负载电流上升至超过 1A，则在比较器输出端 (COMP OUT) 产生过流警报 (OC-Alert) 信号。该实现中的 OC-Alert 信号低电平有效。因此，当超过 1A 阈值后，比较器输出变为低电平。实施迟滞以确保在负载电流减小至 0.5A (减少 50%) 时，OC-Alert 返回到逻辑高电平状态。该电路使用开漏输出比较器，从而对输出高逻辑电平进行电平转换，以控制数字逻辑输入引脚。对于需要驱动 MOSFET 开关栅极的应用，最好使用具有推挽输出的比较器。



设计说明

1. 选择具有轨到轨输入共模范围的比较器，以实现高侧电流检测。
2. 选择具有漏极开路输出级的比较器，以进行电平转换。
3. 选择具有低输入失调电压的比较器，以优化精度。
4. 计算分流电阻器 (R_6) 的值，使分流电压 (V_{SHUNT}) 至少比较器失调电压 (V_{IO}) 大 10 倍。

设计步骤

1. 选择 R_6 的值，使 V_{SHUNT} 至少比较器输入失调电压 (V_{IO}) 大 10 倍。如果使用非常大的 R_6 值，会提高 OC 检测精度，但会降低电源余量。

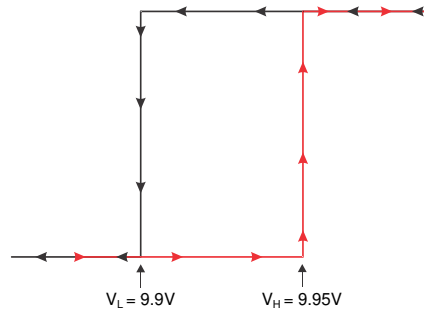
$$V_{SHUNT} = (I_{OC} \times R_6) \geq 10 \times V_{IO} = 55\text{mV}$$

$$\text{set } R_6 = 100\text{m}\Omega \text{ for } I_{OC} = 1\text{A and } V_{IO} = 5.5\text{mV}$$

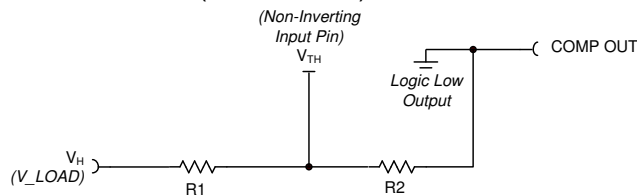
2. 确定当比较器输出从高电平转换为低电平 (V_L) 和从低电平转换为高电平 (V_H) 时所需的开关阈值。 V_L 表示负载电流超过 OC 电平的阈值，而 V_H 表示负载电流恢复至的正常工作电平的阈值。

$$V_L = V_S - (I_{OC} \times R_6) = 10 - (1 \times 0.1) = 9.9\text{V}$$

$$V_H = V_S - (I_{RC} \times R_6) = 10 - (0.5 \times 0.1) = 9.95\text{V}$$

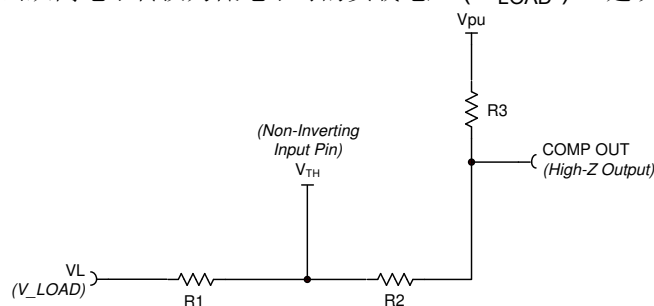


3. 在将比较器的非反相输入引脚标记为 V_{TH} 且比较器输出处于逻辑低电平状态 (接地) 的情况下，推导出 V_{TH} 的计算公式，其中 V_H 表示当比较器输出从低电平转换为高电平时的负载电压 (V_{LOAD})。请注意，用于推导出该公式的简化图显示比较器输出为接地 (逻辑低电平)。



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

4. 在将比较器的非反相输入引脚标记为 V_{TH} 且比较器输出处于高阻抗状态的情况下，推导出 V_{TH} 的计算公式，其中 V_L 表示当比较器输出从高电平转换为低电平时的负载电压 (V_{LOAD})。建议应用叠加原理来求解 V_{TH} 。



$$V_{TH} = V_L \times \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) + V_{PU} \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \right)$$

5. 通过将两个方程设置为彼此相等来消除变量 V_{TH} 并求解 R_1 。结果为以下二次方程。对 R_2 的求解是不太理想的，因为小电阻器值的标准值比大电阻器值更多。

$$0 = (V_{PU}) \times R_1^2 + (V_{PU} \times R_2 + V_L \times (R_3 + R_2) - V_H \times R_2) \times R_1 + (V_L - V_H) \times (R_2^2 + R_2 \times R_3)$$

6. 选择 R_3 和 R_2 的值。 R_3 远小于 R_2 ($R_3 \ll R_2$)。由于增大 R_3 会导致比较器逻辑高输出电平增加到超过 V_{PU} ，因此应避免增大 R_3 。例如，将 R_3 增大到 $100k\Omega$ 的值可能会导致逻辑高输出电平为 $3.6V$ 。在本例中，选择 $R_2 = 2M$ 且 $R_3 = 1k\Omega$ 。

$$R_2 = 2M\Omega$$

$$R_3 = 1k\Omega$$

7. 在对 V_{PU} 、 R_2 、 V_L 、 V_H 和 R_3 代入数值之后，计算 R_1 。对于该设计，设置 $V_{PU} = 3.3$ 、 $R_2 = 2M$ 、 $V_L = 9.9$ 、 $V_H = 9.95$ 以及 $R_3 = 1k\Omega$ 。

$$0 = (3.3) \times R_1^2 + (6.591M) \times R_1 - (200.1G)$$

the positive root for $R_1 = 29.9k\Omega$

using standard 1% resistor values, $R_1 = 30.1k\Omega$

8. 使用 [设计步骤 3](#) 中导出的公式计算 V_{TH} ；使用计算出的 R_1 值。请注意， V_{TH} 小于 V_L ，因为 V_{PU} 小于 V_L 。

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

9. 在反相端子标记为 V_{TH} 的情况下，导出根据 R_4 、 R_5 和 V_S 计算 V_{TH} 的公式。

$$V_{TH} = V_S \times \left(\frac{R_5}{R_4 + R_5} \right)$$

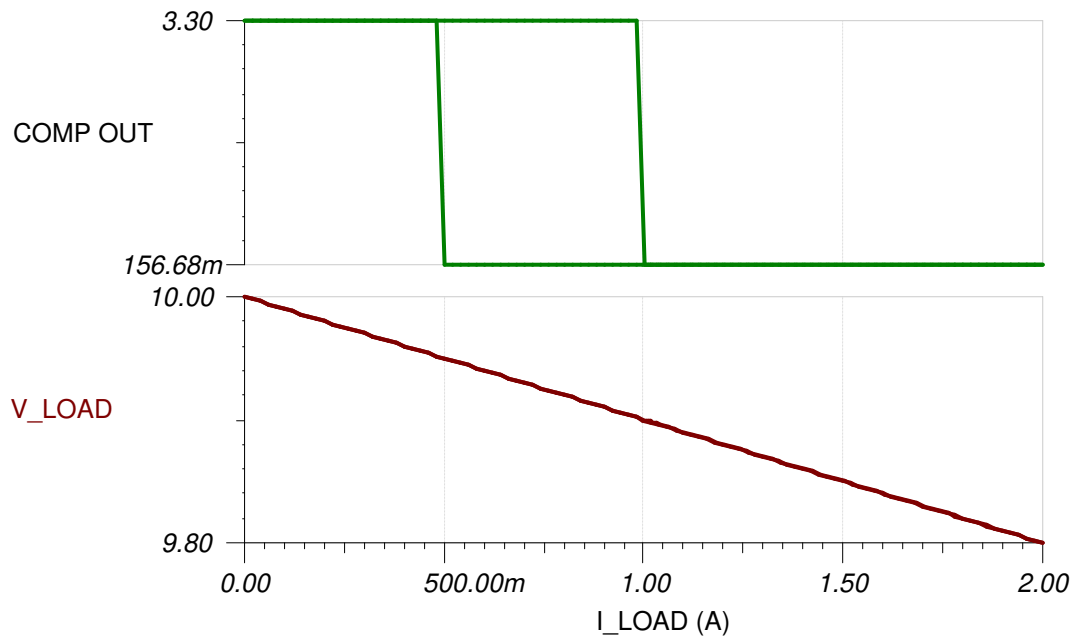
10. 在代入数值 $R_5 = 1M$ 、 $V_S = 10$ 及计算出的 V_{TH} 值之后，计算 R_4 。

$$R_4 = \left(\frac{R_5 \times (V_S - V_{TH})}{V_{TH}} \right) = 20.15k\Omega$$

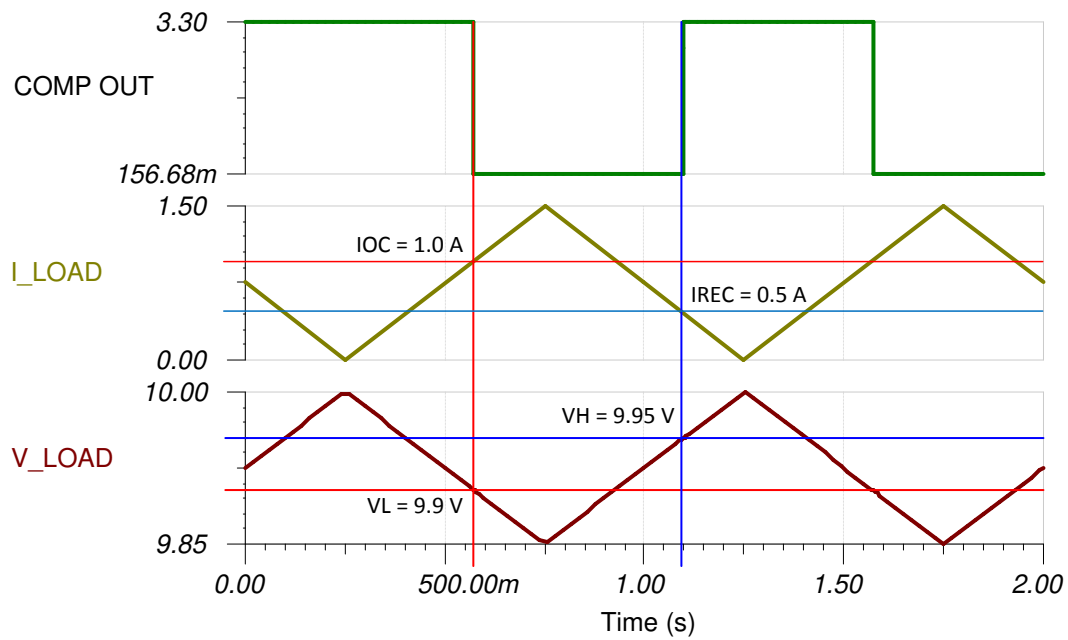
using standard 1% resistor values, $R_4 = 20.5k\Omega$

设计仿真

直流仿真结果



瞬态仿真结果



设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅 [模拟工程师电路手册](#)。

请参阅 [电路 SPICE 仿真文件 SLOM456](#)。

设计特色比较器

参数	TLV184x	TLV183x
V_S	2.7V 至 40V	2.7V 至 40V
V_{inCM}	2.7V 至 40V	2.7V 至 40V
V_{OUT}	开漏	推挽
V_{OS}	500 μ V	500 μ V
I_Q	70 μ A/通道	70 μ A/通道
$t_{PD(HL)}$	65ns	65ns
通道数	1、2、4	1、2、4
	TLV184x	TLV183x

设计备用比较器

	TLV902x_3x	TLV323x
V_S	1.6V 至 5.5V	2.7V 至 5.5V
V_{inCM}	轨到轨	轨到轨
V_{OUT}	开漏、推挽	推挽
V_{OS}	300 μ V	500 μ V
I_Q	16 μ A/通道	200 μ A/通道
$t_{PD(HL)}$	100ns	20ns
通道数	1、2、4	1、2
	TLV902x_3x	TLV3231

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