



Mitch Ridgeway

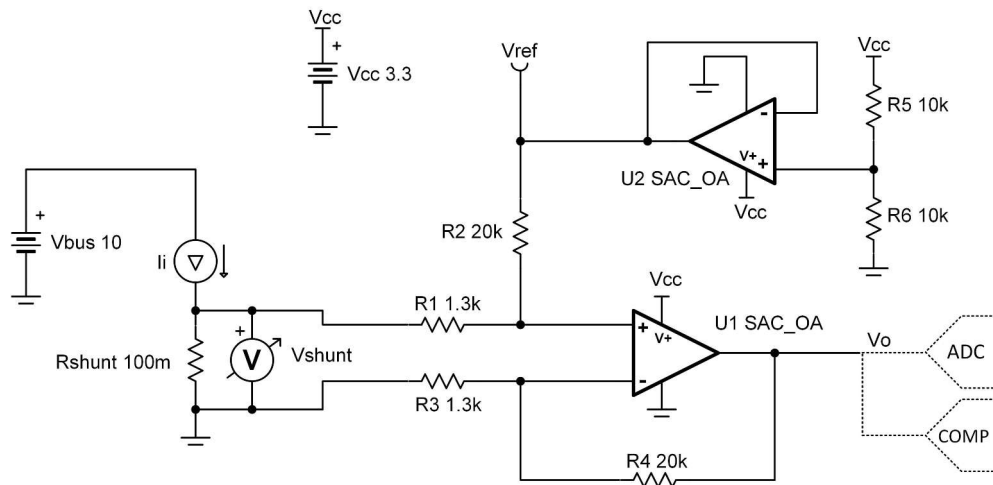
设计目标

输入		输出		电源	
I_{iMin}	I_{iMax}	V_{oMin}	V_{oMax}	V_{cc}	V_{ref}
-1A	1A	100mV	3.2V	3.3V	1.65V

设计说明

某些 MSP430™ 微控制器 (MCU) 包含可配置的集成信号链元件，例如运算放大器、DAC 和可编程增益级。这些组件组成了一个称为智能模拟组合 (SAC) 的外设。有关 SAC 的不同类型以及如何利用其可配置模拟信号链功能的信息，请访问 [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#)。要开始设计，请下载 [低侧双向电流检测设计文件](#)。

该单电源低侧双向电流检测解决方案可以精确地检测 -1A 至 1A 的负载电流。输出的线性范围为 100mV 至 3.2V。低侧电流感应可以保持共模电压接近于接地值，因此特别适用于总线电压高的应用。此设计利用了 MSP430FR2355 MCU 中四个集成运算放大器模块 (SAC) 中的两个模块。其中一个 SAC_L3 外设配置为通用运算放大器，以放大分流电阻两端的电压，而另一个配置为缓冲器，以提供偏置电压 (V_{ref})。后一个 SAC_L3 块也可以配置为 DAC 缓冲模式以提供 V_{ref} ，从而取代外部分压器电路。该电路的输出可以从内部或外部连接到 MSP430FR2355 MCU 中的其他集成外设。例如，模数转换器 (ADC) 窗口比较器可以周期性地对该输出进行采样 (无需 CPU 干预)，并在信号超过阈值时触发中断。



设计说明

- 为了最大程度地减少误差，设置 $R_3 = R_1$ 且 $R_4 = R_2$ 。
- 使用精密电阻器以实现更高的精度。
- 根据线性输出摆幅设置输出范围（请参阅 A_{o1} 规格）。
- 在系统负载无法承受小型接地干扰或需要检测负载短路的应用中，请勿使用低侧检测。
- 在上面的示意图中，MSP430FR2355 MCU (U1) 中的第一个 SAC_L3 外设配置为通用模式。第二个 SAC_L3 外设 (U2) 也配置为通用模式，但带有一个外部分压器。
- 为 U2 使用 DAC 缓冲器配置（如 [低侧双向电流检测设计文件](#) 中的代码示例所示）来提供 V_{ref} ，而不是使用外部分压器电路。
- 该方案也可以使用 MSP430FR2311 器件来实现，方法是为 U1 使用内部跨阻放大器，对 U2 使用 SAC_L1 运算放大器。
- [低侧双向电流检测设计文件](#) 包含如何正确初始化 SAC 外设的代码示例。

设计步骤

1. 确定传递方程，其中 $R_4 = R_2$ 且 $R_1 = R_3$ 。

$$V_o = \left(I_i \times R_{shunt} \times \frac{R_4}{R_3} \right) + V_{ref}$$

$$V_{ref} = V_{cc} \times \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right)$$

2. 确定最大分流电阻。

$$R_{shunt} = \frac{V_{shunt}}{I_{imax}} = \frac{100mV}{1 A} = 100m\Omega$$

3. 设置基准电压。由于输入电流范围是对称的，因此请将基准设置为 $1/2 V_s$ 。因此，使 R_5 和 R_6 的值相等。

$$R_5 = R_6 = 10k\Omega$$

4. 根据运算放大器输出摆幅设置差分放大器增益。在电源为 3.3V 的情况下，运算放大器输出能够从 100mV 摆动至 3.2V。

$$Gain = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{R_{shunt} \times (I_{iMax} - I_{iMin})} = \frac{3.2 V - 100mV}{100m\Omega \times (1 A - (-1 A))} = 15.5 \frac{V}{V}$$

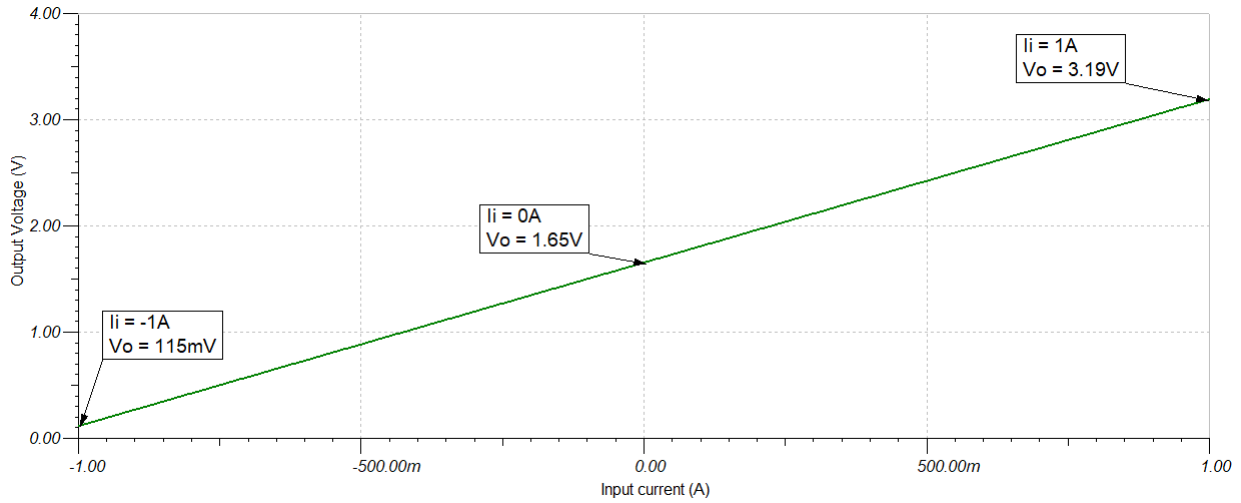
$$Gain = \frac{R_4}{R_3} = 15.5 \frac{V}{V}$$

Choose $R_1 = R_3 = 1.3k\Omega$ (Standard Value)

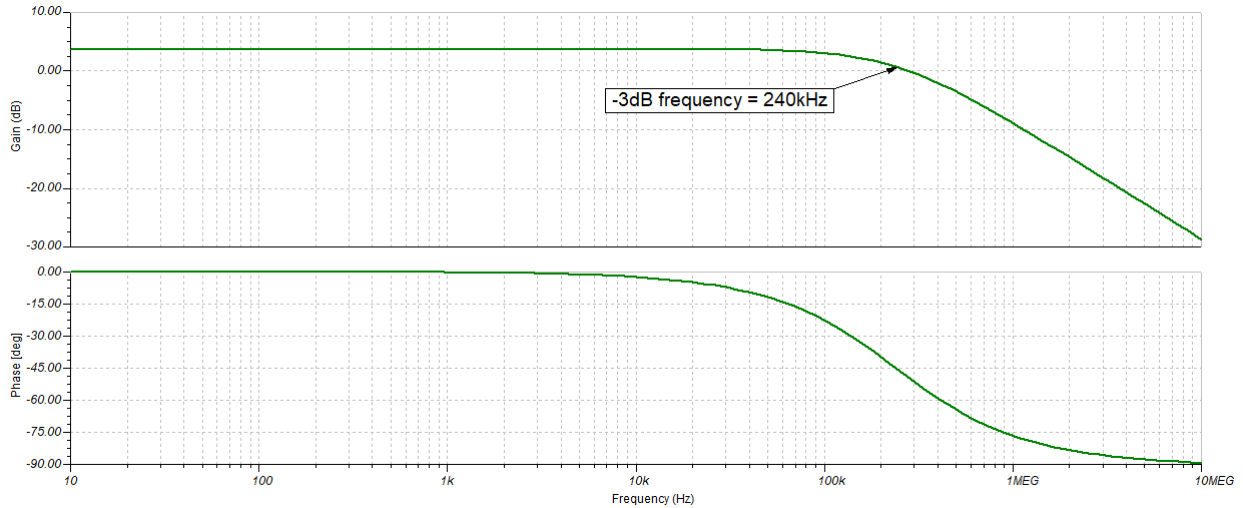
$$R_2 = R_4 = 15.5 \frac{V}{V} \times 1.3k\Omega = 20.15 k\Omega \approx 20k\Omega \text{ (Standard Value)}$$

设计仿真

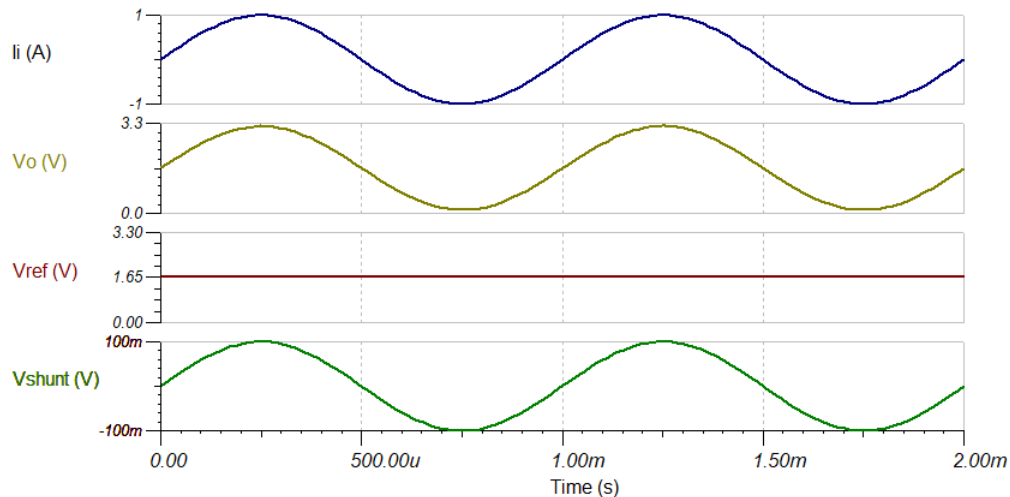
直流仿真结果



闭环交流仿真结果



瞬态仿真结果



目标应用

- [电机驱动器](#)
- [伺服驱动器功能安全模块](#)
- [电池充电器](#)
- [电池组：无线电动工具](#)
- [混合动力汽车/电动汽车电池管理系统 \(BMS\)](#)

设计参考资料

1. 德州仪器 (TI), [MSP430 低侧双向电流检测电路](#), 代码示例和 SPICE 仿真文件
2. 德州仪器 (TI), [具有 3.75KB FRAM、运算放大器、TIA、具有 DAC 的比较器、10 位 ADC 的 16MHz 集成模拟微控制器](#), 产品页面
3. 德州仪器 (TI), [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#), 视频



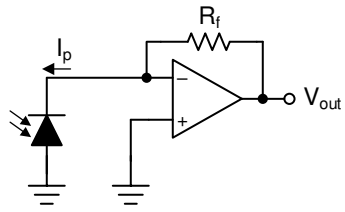
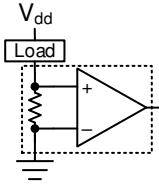
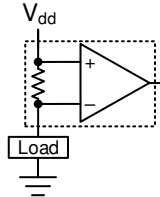
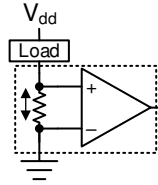

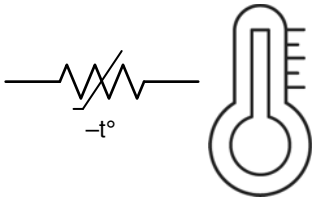
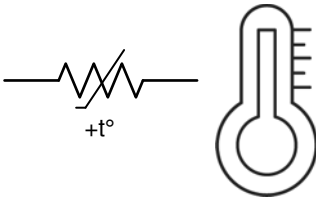
设计特色运算放大器

MSP430FRxx 智能模拟组合		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
V_{CC}	2.0V 至 3.6V	
V_{CM}	-0.1V 至 $V_{CC} + 0.1V$	
V_{out}	轨到轨	
V_{os}	$\pm 5mV$	
A_{OL}	100dB	
I_q	350 μA (高速模式)	
	120 μA (低功耗模式)	
I_b	50pA	
UGBW	4MHz (高速模式)	2.8MHz (高速模式)
	1.4MHz (低功耗模式)	1MHz (低功耗模式)
SR	3V/ μs (高速模式)	
	1V/ μs (低功耗模式)	
通道数量	1	4
MSP430FR2311		
MSP430FR2355		

设计备选运算放大器

MSP430FR2311 跨阻放大器	
V_{CC}	2.0V 至 3.6V
V_{CM}	-0.1V 至 $V_{CC}/2V$
V_{out}	轨到轨
V_{os}	$\pm 5mV$
A_{OL}	100dB
I_q	350 μA (高速模式)
	120 μA (低功耗模式)
I_b	5pA (TSSOP-16, 带 OA 专用引脚输入)
	50pA (TSSOP-20 和 VQFN-16)
UGBW	5MHz (高速模式)
	1.8MHz (低功耗模式)
SR	4V/ μs (高速模式)
	1V/ μs (低功耗模式)
通道数量	1
MSP430FR2311	

MSP430 相关电路

<p>低噪声、远距离 PIR 传感器调节器电路</p> 	<p>桥式放大器电路</p> 	<p>跨阻放大器电路</p> 
<p>单电源、低侧、单向电流检测电路</p> 	<p>带有分立式差分放大器的高侧电流检测电路</p> 	<p>低侧双向电流检测电路</p> 
<p>半波整流器电路</p> 	<p>通过 NTC 热敏电阻电路检测温度</p> 	<p>通过 PTC 热敏电阻电路检测温度</p> 

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (March 2020) to Revision B (October 2024)	Page
• 通篇更新了表格、图和交叉参考的格式.....	1

Changes from Revision * (November 2019) to Revision A (March 2020)	Page
• 添加了 <i>MSP430</i> 相关电路 部分.....	1

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