

应用 MSP430™ 智能模拟组合的低侧双向电流感应电路

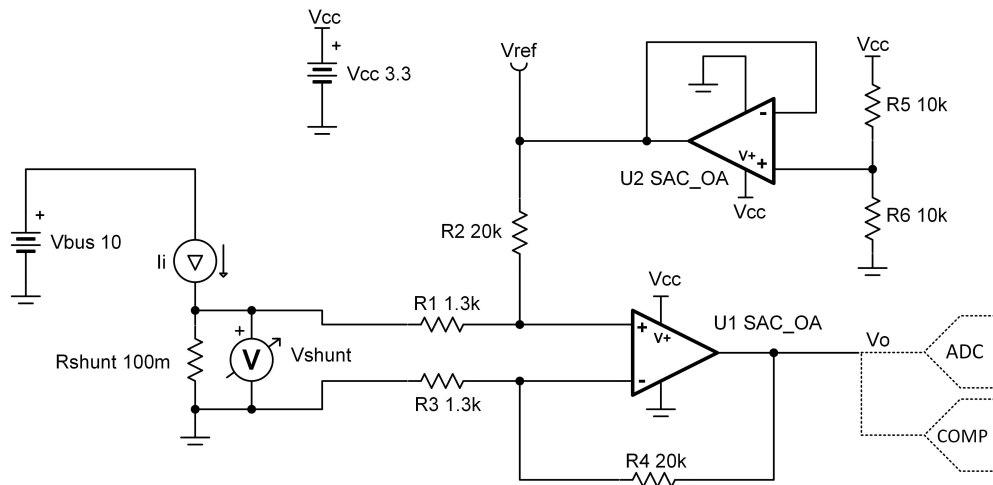
设计目标

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。这些元件组成了一个称为智能模拟组合 (SAC) 的外设。有关 SAC 的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[低侧双向电流感应电路设计文件](#)。

此单电源低侧双向电流感应解决方案可准确检测 -1A 到 1A 的负载电流。输出的线性范围为 100mV 至 3.2V。低侧电流感应可保持共模电压接近地电平，因此在总线电压大的应用中最有用。此设计利用了 MSP430FR2355 MCU 中四个集成运算放大器块 (SAC) 中的其中两个模块。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。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

- 为了最大程度地降低误差，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_{ol} 规格）。
- 不应在系统负载无法承受小接地干扰的应用或需要检测负载短路的应用中使用低侧检测。
- 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。
- 建议为 U2 使用 DAC 缓冲器配置（如低侧双向电流感应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。
- 该解决方案也可以使用 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。
- [低侧双向电流感应设计文件](#) 包含如何正确初始化 SAC 外设的代码示例。

设计步骤

1. 在 $R_4 = R_2$ 且 $R_1 = R_3$ 的情况下确定传递方程。

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

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

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。

- a. 由于输入电流范围是对称的，因此应将基准设置为 $1/2 V_s$ 。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，运算放大器输出可以从 100mV 摆动至 3.2V。

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

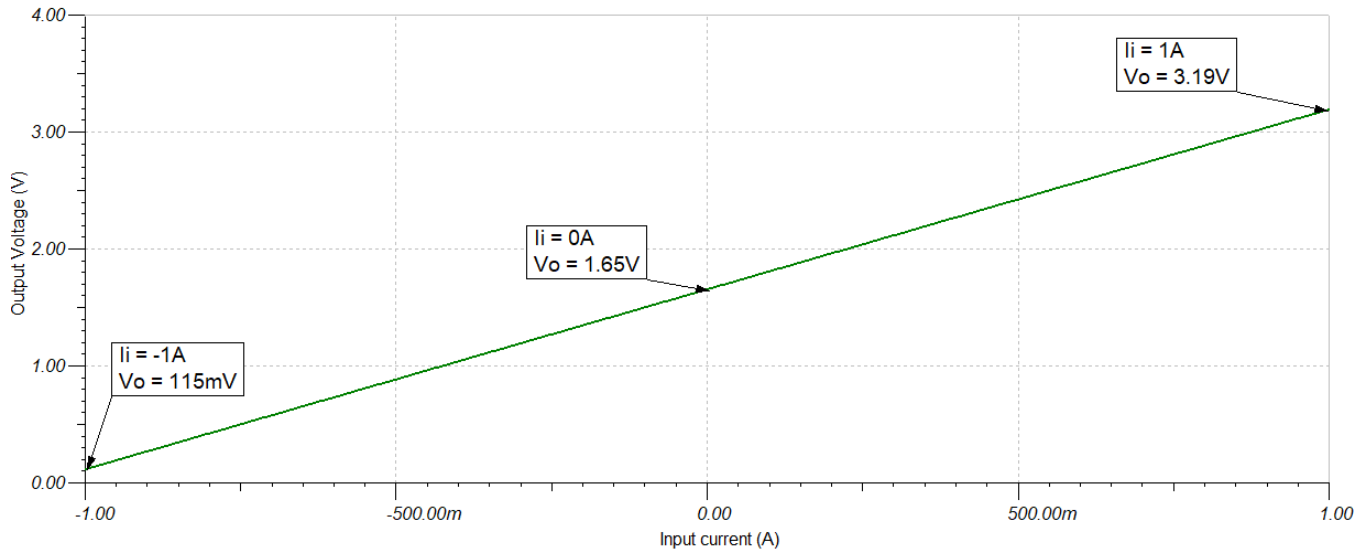
$$Gain = \frac{R_4}{R_3} = 15.5 \frac{V}{V}$$

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

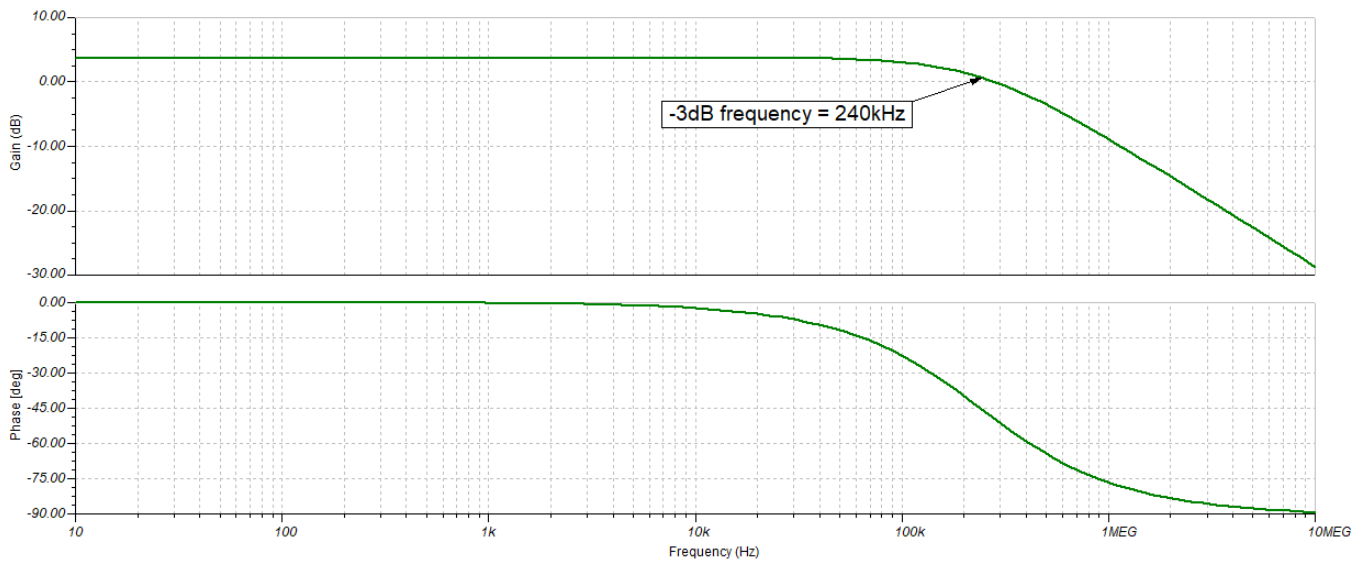
$$R_2 = R_4 = 15.5 \frac{V}{V} \times 1.3k\Omega = 20.15 k\Omega \approx 20k\Omega \text{ (Standard Value)}$$

设计仿真

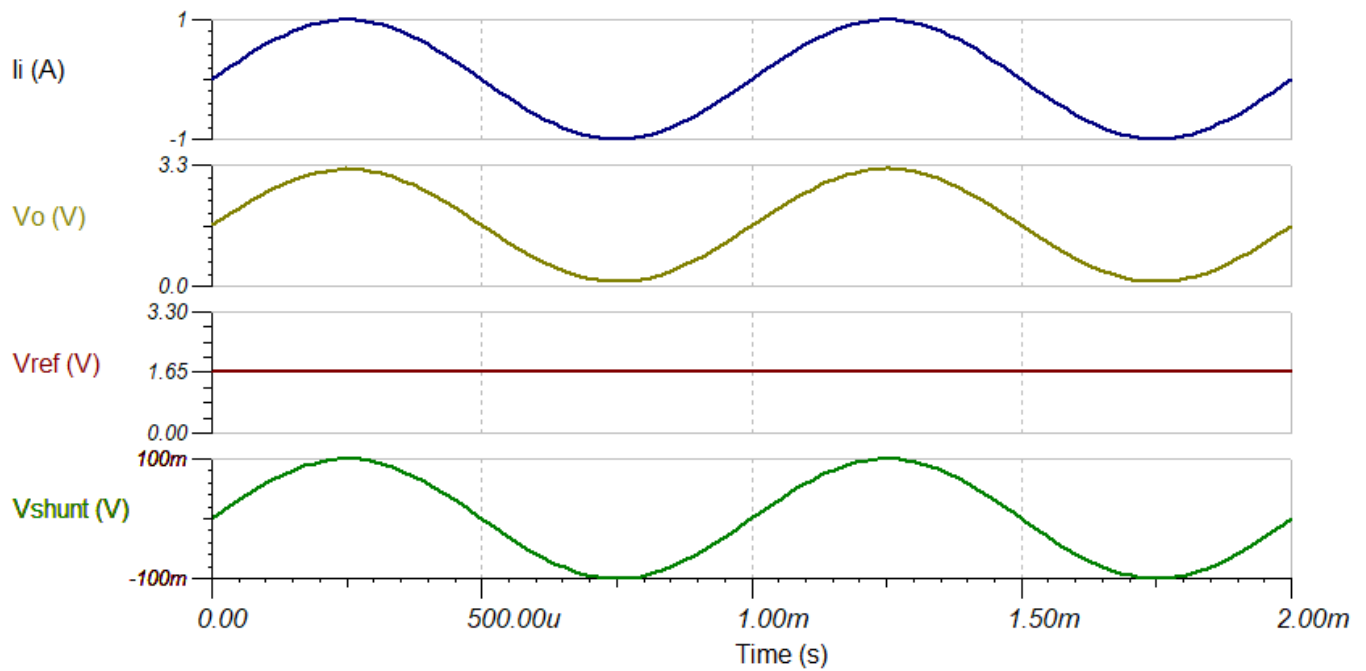
直流仿真结果



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

商用电池充电器

电池包：无绳充电式电动工具

电池包：电动自行车/电动踏板车/轻型电动车辆 (LEV)

设计参考资料

1. [MSP430 低侧双向电流感应电路代码示例和 SPICE 仿真文件](#)
2. 《模拟工程师电路设计指导手册》
3. [MSP430FR2311 TINA-TI Spice 模型](#)
4. [MSP430 MCU 智能模拟组合培训](#)



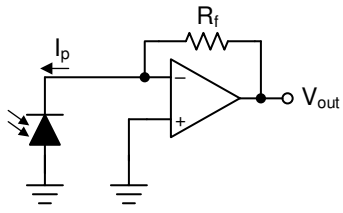
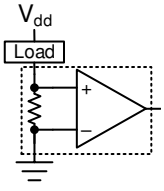
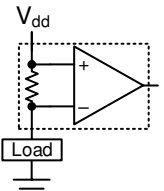
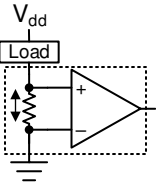

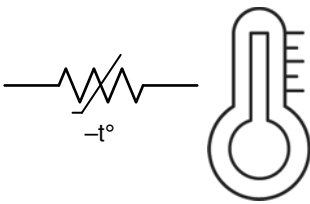
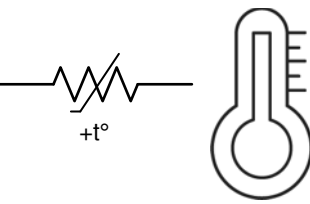
设计首选运算放大器

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}	轨至轨	
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
http://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430FR2311		
http://www.ti.com.cn/product/cn/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}	轨至轨
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
http://www.ti.com.cn/product/cn/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、单向电流感应电路</p> 	<p>带有分立式差分放大器的高侧电流感应电路</p> 	<p>低侧双向电流感应电路</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> 

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from November 15, 2019 to March 6, 2020

Page

-
- 添加了 *MSP430* 相关电路部分..... **6**
-

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 © 2020 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”提供技术性及其可靠性数据（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 © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司