

应用 MSP430™ 智能模拟组合的高侧电流感应电路设计

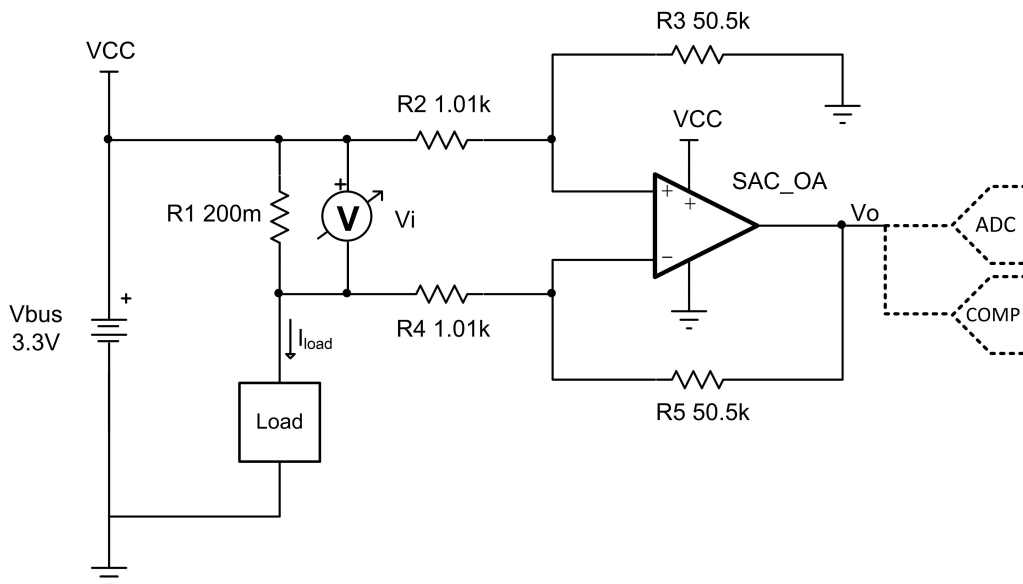
设计目标

输入		输出		电源	
I_{iMin}	I_{iMax}	V_{oMin}	V_{oMax}	V_{cc}	V_{ee}
25mA	300mA	0.25V	3V	3.3V	0V

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，例如可编程增益级的运算放大器 (PGA) 和数字模拟转换器 (DAC)。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](#)。开始设计之前，请下载 [高侧电流感应电路设计文件](#)。

此单电源高侧低成本电流感应解决方案可以检测 25mA 和 300mA 之间的负载电流，并将其转换为 0.25V 至 3V 的输出电压。高侧感应使系统能够识别接地短路，并且不会对负载造成接地干扰。该电路在通用模式下使用 [MSP430FR2311 SAC_L1](#) 运算放大器，并将 OAx+ 和 OAx- 专用为同相和反相输入。同样的方法也可以在 [MSP430FR2355](#) 上实现，它有四个 SAC_L3 外设，具有额外的内置 DAC 和 PGA 功能。集成式 SAC 运算放大器的输出可以直接通过片内 ADC 采样或通过片内比较器进行监测，以在 MCU 内部进行进一步处理。



设计说明

- 直流共模抑制比 (CMRR) 性能取决于增益设置电阻器 R_2 - R_5 的匹配情况。
- 增大分流电阻器的值会增加功耗。
- 确保共模电压处于放大器的线性输入运行区域内。共模电压由 R_2 、 R_3 和总线电压构成的电阻分压器设置。根据电阻分压器确定的共模电压，此应用可能不需要轨至轨输入 (RRI) 放大器。
- 不具有可扩展至 V_{CC} 的共模电压范围的运算放大器可用在低增益或衰减配置中。
- 与反馈电阻器并联放置的电容器将限制带宽、提高稳定性并有助于降低噪声。
- 在线性输出运行区域内使用运算放大器。通常在 A_{OL} 测试条件下指定线性输出摆幅。
- 如果该解决方案是通过 MSP430FR2311 SAC_L1 或 MSP430FR2355 SAC_L3 实现的，则运算放大器需配置为通用模式。
- 如果使用 MSP430FR2311 TIA 实现该解决方案，则输入电压范围限制为 $V_{CC}/2$ ，因此必须相应地调整增益或范围。
- [高侧电流感应电路设计文件](#) 包含如何正确初始化 SAC 外设的代码示例。

设计步骤

1. 下面提供了电路的完整传递函数。

$$V_o = I_{in} \times R_1 \times \frac{R_5}{R_4}$$

Given $R_2 = R_4$ and $R_3 = R_5$

2. 计算最大分流电阻。将最大分流电压设置为 60mV。

$$R_1 = \frac{V_{iMax}}{I_{iMax}} = \frac{60mV}{300mA} = 200m\Omega$$

3. 计算增益以设置最大输出摆幅范围。

$$\text{Gain} = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{(I_{iMax} - I_{iMin}) \times R_1} = \frac{3V - 0.25V}{(0.3A - 0.025A) \times 200m\Omega} = 50\frac{V}{V}$$

4. 计算增益设置电阻器以设置步骤 3 中计算的增益。

$$\text{Choose } R_2 = R_4 = 1.01k\Omega \text{ (Standard value)}$$

$$R_3 = R_5 = R_2 \times \text{Gain} = 1.01k\Omega \times 50\frac{V}{V} = 50.5k\Omega \text{ (Standard value)}$$

5. 计算放大器的共模电压以确保以线性模式运行。

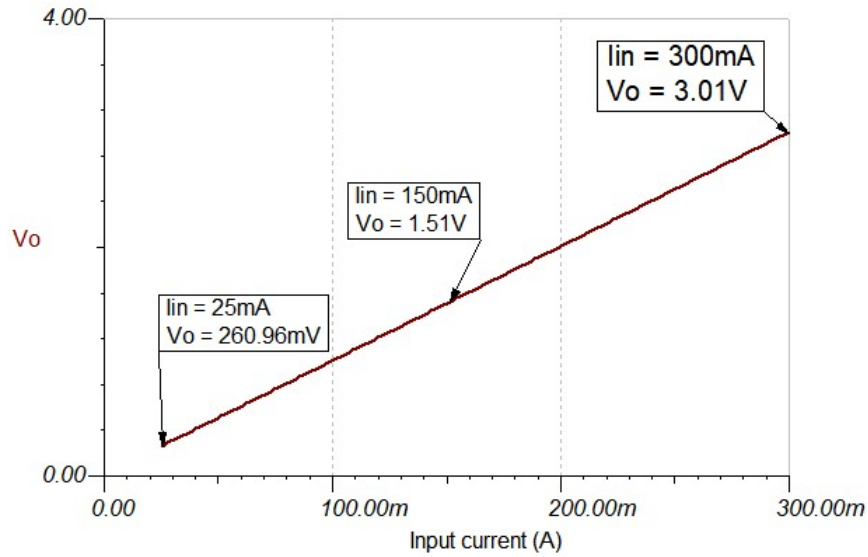
$$V_{cm} = V_{CC} \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 3.3V \times \frac{50.5k}{1.01k + 50.5k} = 3.235V$$

6. 截止频率上限 (f_H) 取决于此电路的同相增益 (噪声增益) 和运算放大器的增益带宽 (GBW)。

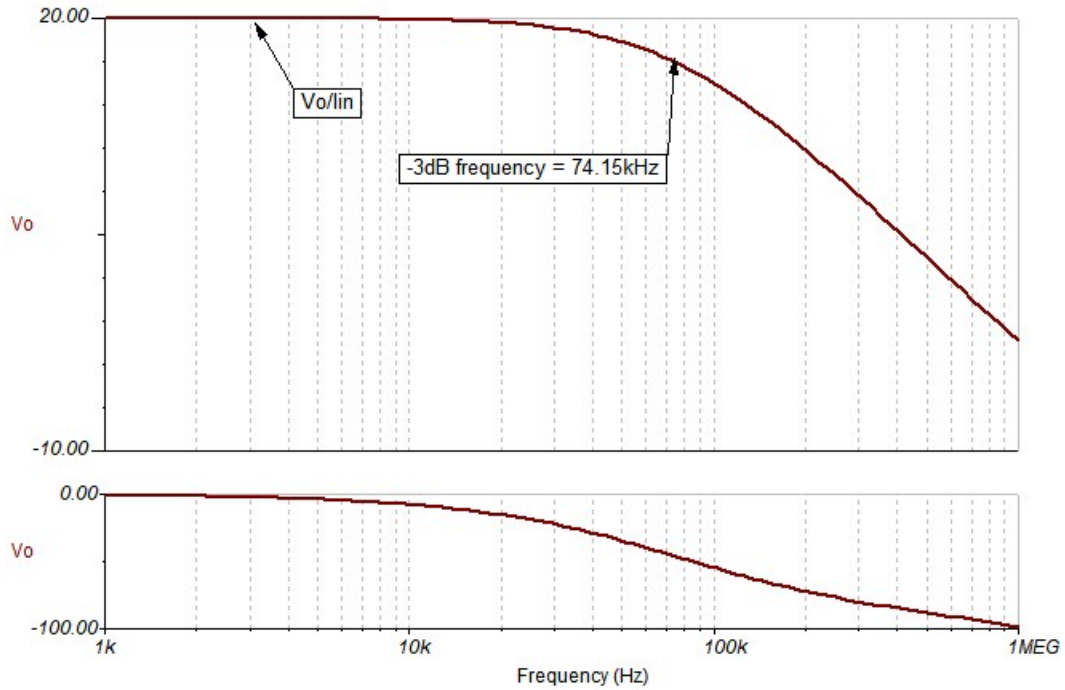
$$f_H = \frac{GBW}{\text{Noise Gain}} = \frac{4MHz}{51\frac{V}{V}} = 78.43 \text{ kHz}$$

设计仿真

直流仿真结果



交流仿真结果



目标 应用

- 无线电动工具电池组
- 电动自行车、电动踏板车电池组
- 电机驱动器
- LED 灯具
- 电网基础设施

参考文献

1. 高侧电感应电路设计文件
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



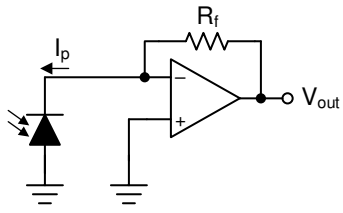
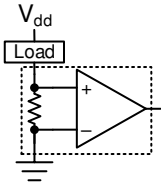
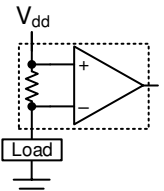
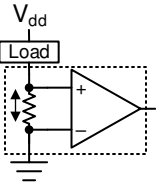

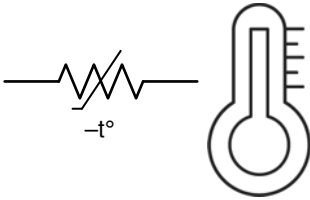
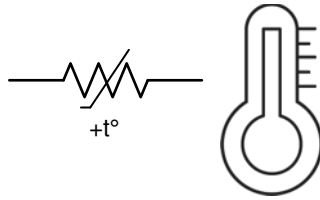
MSP430FRxx 智能模拟组合		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
V_{CC}	2.0V 至 3.6V	
V_{CM}	-0.1V 至 $V_{CC} + 0.1V$	
V_{out}	轨至轨	
V_{os}	$\pm 5mV$	
A_{OL}	100dB	
I_q	350 μA (高速模式)	
	120 μA (低功耗模式)	
I_b	50pA	
UGBW	4MHz (高速模式)	2.8MHz (高速模式)
	1.4MHz (低功耗模式)	1MHz (低功耗模式)
SR	3V/ μs (高速模式)	
	1V/ μs (低功耗模式)	
通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

MSP430FR2311 跨阻放大器	
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 26, 2019 to March 6, 2020	Page
• 添加了 <i>MSP430</i> 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