

Analog Engineer's Circuit

具有 MSP430™ 智能模拟组合的低噪声和远距离 PIR 传感器调节器电路



James Evans

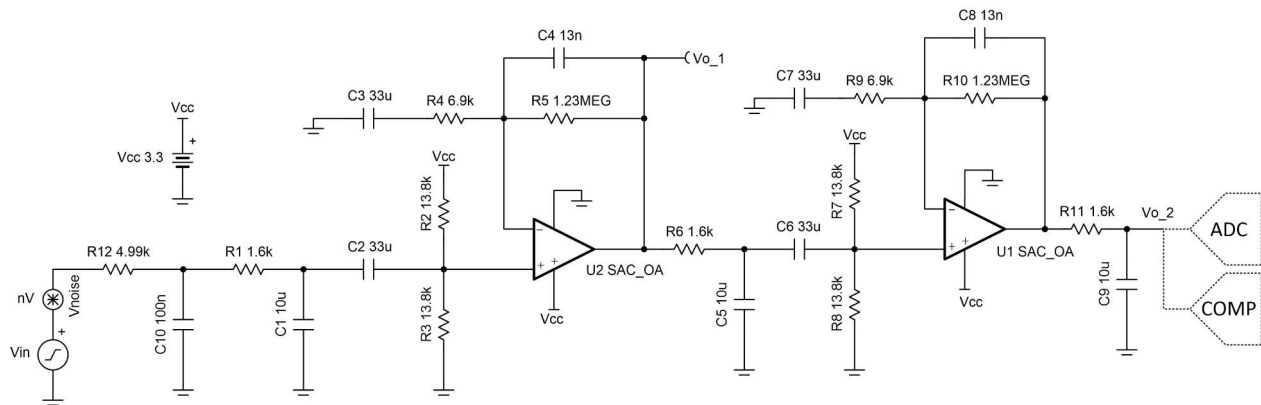
设计目标

交流增益	滤波器截止频率		电源	
90dB	f_L	f_H	V_{CC}	V_{EE}
	0.7Hz	10Hz	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 的不同类型以及如何利用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 [低噪声远距离 PIR 传感器调节器电路设计文件](#)。

此设计利用了 MSP430FR2355 MCU 中四个集成运算放大器块 (SAC) 中的两个模块。两个 SAC_L3 外设 在通用模式下被配置为级联运算放大器，以对来自被动红外 (PIR) 传感器的信号进行放大和滤波。此电路包括多个低通和高通滤波器，可降低电路输出端的噪声，从而能够检测出远距离运动并减少误触发。该电路中第二级运算放大器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，以指示运动或警报。



设计说明

- 对于共模电压和输出偏置电压，使用 R_2 和 R_3 (以及 R_7 和 R_8) 之间的电阻分压器进行设置。
- 必须使用两个或更多个放大器级以能够有足够的环路增益。
- 可以添加其他低通和高通滤波器以进一步降低噪声。
- 电容器 C_4 和 C_8 通过减小电路带宽来过滤噪声，并帮助稳定放大器。
- 需要使用放大器输出端的 RC 滤波器 (例如， R_6 和 C_5) 来降低放大器的总集成噪声。
- 电路的最大增益会受滤波器截止频率的影响。通过调整截止频率可实现所需增益。
- 在此设计中，MSP430FR2355 MCU 中的两个 SAC_L3 外设 在通用模式下配置为级联运算放大器。

- 也可以通过将 **MSP430FR2311** MCU 中的跨阻放大器 (TIA) 和 **SAC_L1** 外配置为级联运算放大器来实现此设计，但是由于 TIA 的最大输入电压限制为 $V_{CC}/2$ ，因此共模电压和增益应相应地加以限制。
- **低噪声远距离 PIR 传感器调节器电路设计文件** 包含一个代码示例，演示如何在 **MSP430FR2355** MCU 中正确配置 **SAC_L3** 和 ADC 窗口比较器外设。

设计步骤

1. 为低通滤波器选择高容值电容器 C_1 、 C_5 和 C_9 。应先选择这些电容器，因为与标准电阻器阻值相比，高容值电容器可供选择的标称值有限。

$$C_1 = C_5 = C_9 = 10\mu\text{F}$$

2. 计算 R_1 、 R_6 和 R_{11} 的电阻值以构成低通滤波器。

$$R_1 = R_6 = R_{11} = \frac{1}{2\pi \times f_H \times C_1} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 10\mu\text{F}} = 1.592\text{k}\Omega$$

$$\text{Choose } R_1 = R_6 = R_{11} = 1.6\text{k}\Omega \quad (\text{Standard value})$$

3. 为高通滤波器选择 C_2 、 C_3 、 C_6 和 C_7 的电容器值。

$$C_2 = C_3 = C_6 = C_7 = 33\mu\text{F}$$

4. 为高通滤波器计算 R_4 和 R_9 的电阻器值。

$$R_4 = R_9 = \frac{1}{2\pi \times f_L \times C_2} = \frac{1}{2\pi \times 0.7\text{Hz} \times 33\mu\text{F}} = 6.89\text{k}\Omega$$

$$\text{Choose } R_4 = R_9 = 6.9\text{k}\Omega \quad (\text{Standard value})$$

5. 使用分压器将放大器的共模电压设置为供电电压的一半。分压器的等效电阻应该等于 R_4 ，从而正确设置高通滤波器的转角频率。

$$R_2 = R_3 = R_7 = R_8 = 2 \times R_4 = 2 \times 6.9\text{k}\Omega = 13.8\text{k}\Omega$$

$$\text{Choose } R_2 = R_3 = R_7 = R_8 = 13.8\text{k}\Omega \quad (\text{Standard value})$$

6. 计算每个增益级所需的增益以满足总增益需求。在两个增益级之间平均分配电路的总增益目标。

$$\text{Gain} = \frac{90\text{dB}}{2} = 45\text{dB} = 177.828\frac{\text{V}}{\text{V}}$$

7. 计算 R_5 以设置第一级的增益。

$$R_5 = (\text{Gain} - 1) \times R_4 = (177.828\frac{\text{V}}{\text{V}} - 1) \times 6.9\text{k}\Omega = 1.22\text{M}\Omega$$

$$\text{Choose } R_5 = 1.23\text{M}\Omega \quad (\text{Standard value})$$

8. 计算 C_4 以设置低通滤波器截止频率。

$$C_4 = \frac{1}{2\pi \times f_H \times R_5} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 1.23\text{M}\Omega} = 12.939\text{nF}$$

$$\text{Choose } C_4 = 13\text{nF} \quad (\text{Standard value})$$

9. 第一个增益级的增益和截止频率与第二个增益级相等，因此请将两个级的所有组件值设置为彼此相等。

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_6 = 1.6\text{k}\Omega \\
 R_7 &= R_8 = 13.8\text{k}\Omega \\
 R_9 &= R_4 = 6.9\text{k}\Omega \\
 R_{10} &= R_5 = 1.23\text{M}\Omega \\
 C_8 &= C_4 = 13\text{nF}
 \end{aligned}$$

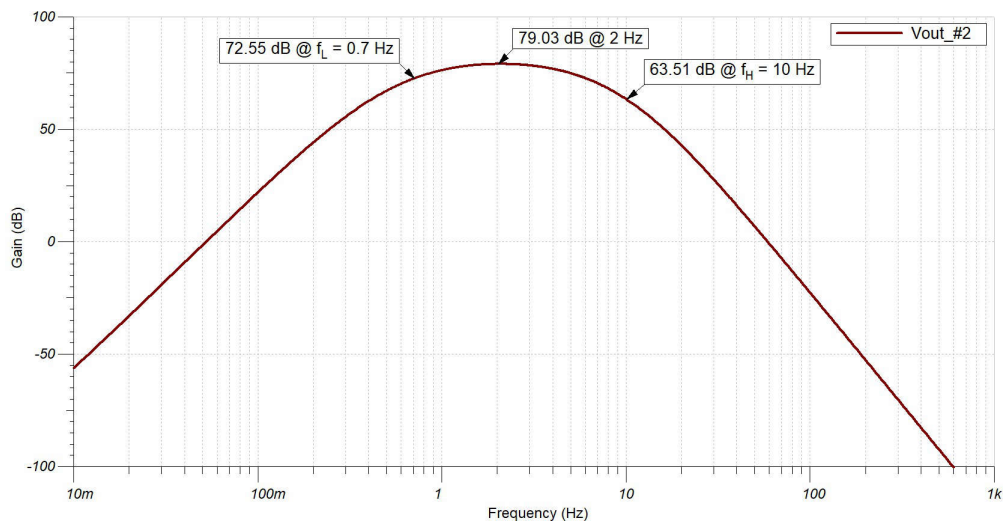
10. 计算 R_{11} 以设置电路输出端低通滤波器的截止频率。

$$R_{11} = \frac{1}{2\pi \times f_H \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 10\mu\text{F}} = 1.592\text{k}\Omega$$

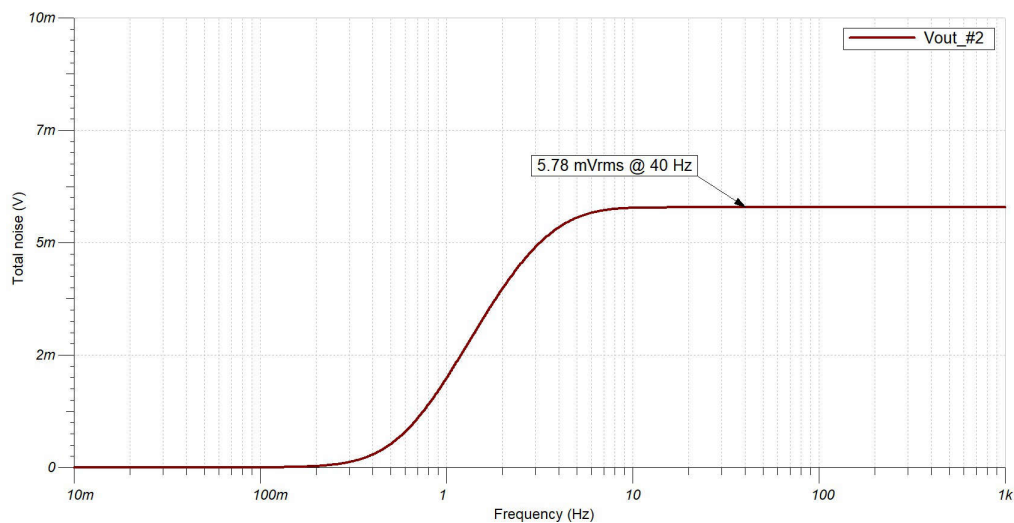
Choose $R_{11} = 1.6\text{k}\Omega$ (Standard value)

设计仿真

交流仿真结果



噪声仿真结果



目标应用

- [运动检测器](#)
- [占位检测 \(人员跟踪和人员计数 \)](#)
- [楼宇自动化](#)
- [IP 网络摄像头](#)
- [照明传感器](#)
- [恒温器](#)
- [可视门铃](#)

参考资料

1. 德州仪器 (TI), [低噪声远距离 PIR 传感器调节器电路](#), 设计文件
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), [如何使用 MSP430™ MCU 中的智能模拟组合](#), 应用报告
4. 德州仪器 (TI), [MSP430 MCU 智能模拟组合](#), 培训视频



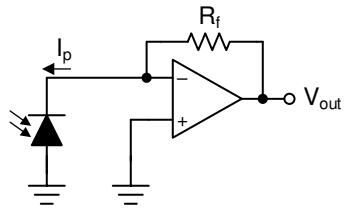
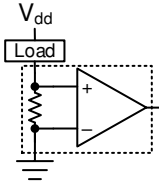
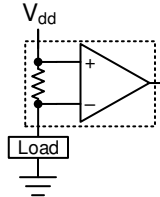
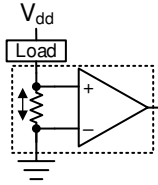

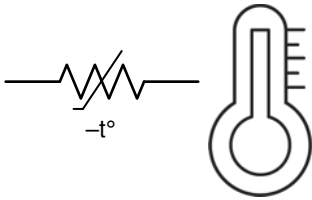
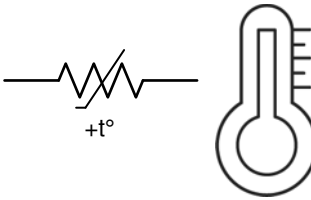
设计特色运算放大器

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}	±5mV	
A_{OL}	100dB	
I_q	350µA (高速模式)	
	120µA (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

MSP430™ is a trademark of Texas Instruments.
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 (February 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 * (December 2019) to Revision A (February 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