

Rafael A. Mena
系统架构师 德州仪器
Texas Instruments

Tyler Witt
应用工程师 德州仪器
Texas Instruments

Prajakta Desai
产品营销工程师 德州仪器
Texas Instruments

简介

许多工业自动化与过程控制的解决方案需要对多个过程或控制变量进行精密感测。这些变量包括温度、负载、力度、光强度、运动、位置和电压。TI 最新的嵌入式微控制器 (MCU) 系列, 即 MSP430i20xx 系列, 能够为多达 4 个集成的 24 位 Sigma-Delta 模数转换器 (ADC) 提供每通道低功耗转换。在 24 位 ADC 之前, 可直接通过差动输入可编程增益放大器 (PGA) 感知传感器输出。PGA 可为高阻抗缓冲器提供单位增益或高达 16 的软件定义增益。在线路供电解决方案中 (通常用于工业应用), 多通道 ADC 解决方案可为多个传感器提供同步监控, 而不会超过通信环路定义的系统电流阈值。另外, 此解决方案还能够延长多通道电池供电传感应用中的电池寿命。本文将审查配置为 2 线发送器的线路供电解决方案, 其中通信环路作为 3 线和 4 线发送器为系统提供电源, 且提供给系统的电源独立于通信环路。MSP430i20xx 系列 MCU 可在工作气温不高于 105 摄氏度时为这些配置提供支持。

多传感器现场发送器解决方案

工业发送器设计

绝大多数工业自动化和传感器解决方案仍然依靠线路供电解决方案

[1]。简便易用、可靠的远距离数据传输、低噪声易感性以及低成本让此解决方案成为强大的工业解决方案的理想之选。这些解决方案既可为系统提供电源, 也可在传感器和网关之间提供通信路径。在这种情形下, 系统包含一个电压控制电流源来调节环路电流, 以响应传感器信号输出。调制电流的范围通常为 4mA 至 20mA, 其中 4mA 表示传感器输出范围的最小值, 而 20mA 表示传感器输出范围的最大值。两个端点之间的线性区表示传感器输出的中间值。

图 1 显示了一个电压控制电流源的典型配置。通过环路的电流受 R6 和 R7 定义的分流器电路以及通过 R5 的基准电流的约束。鉴于通信环路是基于电流值的, 信号的准确度不受互连引线中压降的影响。因此, 发送器和接收器之间的距离可以长达几千米 [1]。在这种情形下, 发送器不会提供电流源。电流由连接到其输出终端的外部电压源提供。这成为了一项额外优势, 因为通信环路可以自行作为发送器提供电源。鉴于允许的最小测量值定义为 4mA 阈值, 因此发送器解决方案的整个系统电流需要在这一临界点以下, 通常是在 3.5mA 以下。因此, 裕量可用于警告读数低。

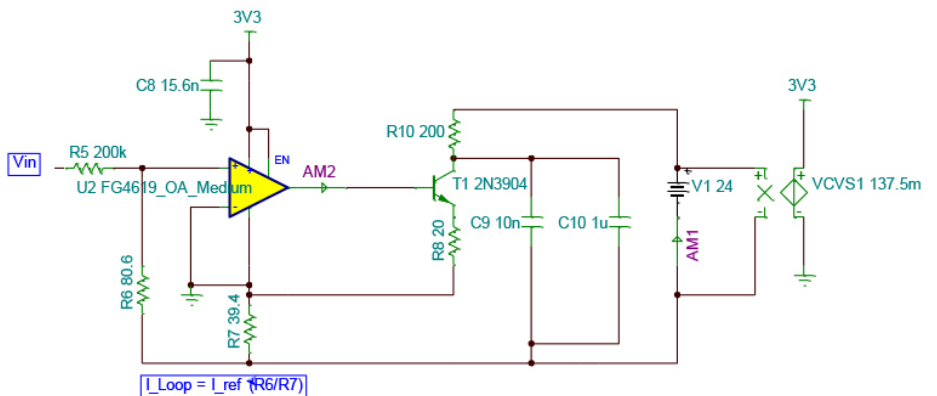


图 1. 电压控制电流源原理图

电流环路发送器包括传感器、传感器接口、微控制器和电压控制电流源（或电流 DAC）。图 2 中显示了典型的发送器方框图。对于 MCU 的 MSP430i20xx 系列，可以直接通过 24 位 Sigma-Delta ADC 的差动输入感知传感器信号。针对电压控制电流源的电流驱动器偏置，可以通过附带有适当占空比及滤波需求的脉宽调制（PWM）信号来实现。可以使用 16 位定时器模块来生成可调节 PWM 信号，理论上来说其准确度可达到 16 位 [2]。之后，各种占空比的输出信号就可以通过低通滤波器，该低通滤波器的设计只允许输出一个直流电压源。此滤波器的设计方式使得截止频率低于 PWM 频率，因而可以确保电压输出的单一性。

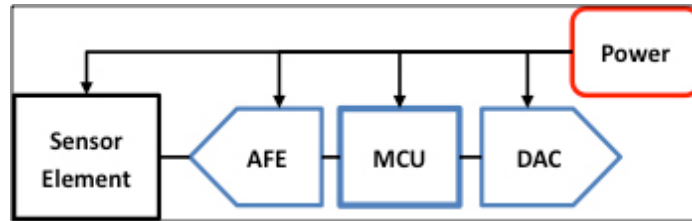


图 2： 电流环路发送器方框图

电流环路解决方案

如前所述，发送器要么通过通信环路经 2 线实施得到供电，要么通过不与 4–20mA 电流环路直接关联的单独供电线路得到供电（通常将其归类为 3 线或 4 线解决方案）。在这两种情形下，低压差（LDO）稳压器对电流环路电源电压进行降压，以便为发送器供电。图 3 提供了 2 线和 3 线的解决方案视图。在 2 线解决方案中，为了确保能够通过警告低读数的裕量实现最小传输测量值 4mA，将电流阈值保持在 3.5mA 以下是很重要的。

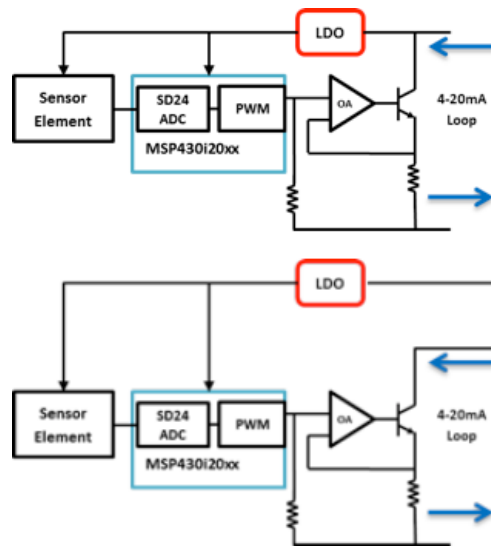


图 3： 2 线和 3 线电流环路方框图

传感器接口

许多高级工业细分市场都使用多通道的高性能采集系统，以便近乎实时地管理从精确工业传感器上传来的信息。典型例子包括用来测量现实世界中的参数（如温度、压力、光强度、液体流量和力度）的不间断电源、工业功率计/监视器、振动和波形分析、仪表和控制系统以及数据采集系统。板载 PGA 的差分输入直接与 24 位 Sigma-Delta ADC 对接，实现了对传感器信号直接、高精度的感知。此外，这些转换器基于二阶 Sigma-Delta 调制器和数字抽取滤波器。抽取滤波器是可选过采样率高达 256 的 SINC3 梳型滤波器 [2]。在 MSP430i20xx MCU 中，有多达 4 个独立的 24 位 Sigma-Delta ADC。这种设计可允许多达 4 个传感器接口，以实现多个工业自动化或过程参数的同步采样。在转换过程中，每个通道平均仅消耗 200 μ A [3]。相比之下，其他的解决方案通常在每通道 0.5mA 至 1.0mA 之间。即使在 2 线电流环路架构阈值的严格要求下，MSP430i20xx MCU 也可以为同步传感器采样提供这种每通道低电流。

表 1 对比了 MCU 的 MSP430i20xx 系列中，其 4 通道 24 位 SD24 模块的交流 and 直流转换分辨率。如表所示，在大部分的 PGA 增益设置中，MSP430i20xx SD24 的直流性能超过了 16 个有效位。这个指标在 4 至 20 mA 电流环路解决方案中，对于 0.5 μ A 以上的准确度来说是足够的。图 3 提供了其他测试数据。

Parameter	PGA Gain	Vcc	Typ.	Unit
SINAD*	1	3V	89	dB
	2		89	
	4		87	
	8		83	
	16		77	
DC ENOB (internal resistor)	1	3V	16.71	bits
	2		16.58	
	4		16.71	
	8		16.09	
	16		15.03	
DC ENOB (external resistor)	1	3V	16.07	bits
	2		16.07	
	4		16.00	
	8		15.64	
	16		15.14	

表 1: MSP430i20xx 设备上 4 通道 24 位 SD24 模块的交流和直流转换分辨率对比。* 按 MSP430i20xx 产品说明书中指定的。

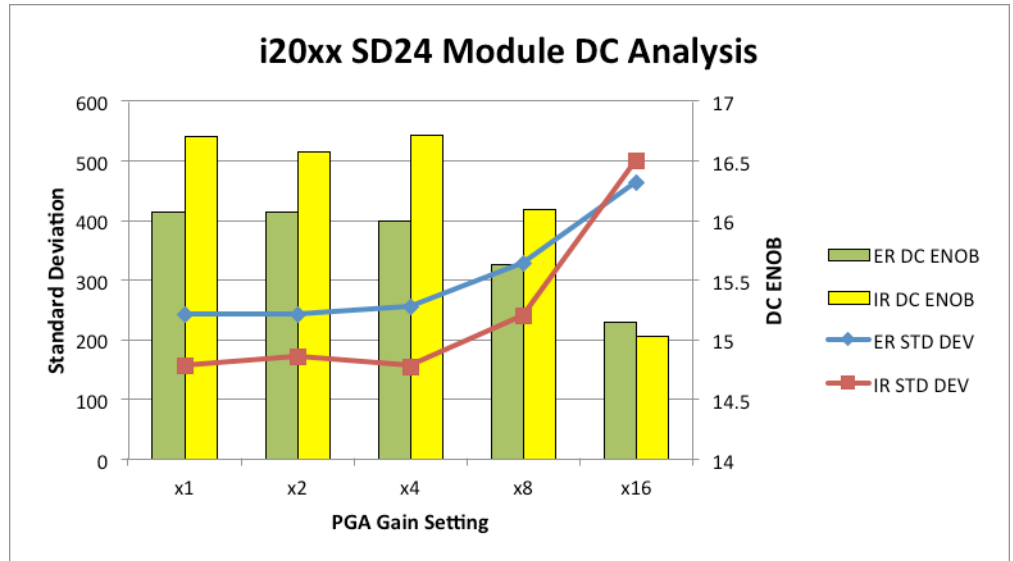


图 3。MSP430i20xx SD24 性能的直流分析

结论

图 3 和表 1 中所示的直流分析数据是通过标准方法获取的，具体是通过使 SD24 的差动输入短路来找出大量数据的标准差。更明确地说，就是通过编写代码示例来在 RAM 的一个块中存储 256 个 24 位值的样片，之后则可以通过 TI 的 Code Composer Studio™ IDE 将其下载到文本文件中。为了计算交流数据的 ENOB，使用了结合 SINAD 的简单公式。此公式表明 $ENOB = (SINAD - 1.76dB) / 6.02dB$ 。对于直流数据，则采用了数据标准差，ENOB 可通过以下公式得出： $ENOB = N - \log_2()$ 。在这个公式中，N 代表转换器提供的位数，而则是数据的标准差 [4]。

MSP430i20xx 系列 MCU 带有多达 4 个 24 位 Sigma-Delta ADC，非常适合高精度工业传感应用。每通道 ADC 的低功耗特性可实现对多个高精度传感器输出的同步采样，并且不会超过由多个 2 线工业电流环路解决方案定义的电流阈值水平。该系列也是许多电池供电的多传感器应用的理想之选。

参考

1. Jefferson Daniel de Barros Sodera, Julio Cesar Saldana, Cesar Giacomini Pentead, Hugo Daniel Hernandez, Raul Acosta, Fernando Chavez Porras, Marcos A. Valerio, Angelica dos Anjos 和 Paulo H. Trevisan, "On-chip 4to20mA reconfigurable current loop transmitter for smart sensor applications", (适用于智能传感器应用的 4 至 20mA 可重新配置型片上电流环路发送器)，集成电路及系统设计 (SBCCI)，2015，2012 年 8 月 30 日
2. MSP430i20xx 系列产品用户指南 (SLAU335)
3. MSP430i20xx 混合信号微控制器产品说明书 (SLAS887)
4. B. Baker, ENOB 视频教程。[视频培训]。德克萨斯州达拉斯：德州仪器 (TI)，2011。
<http://focus.ti.com/docs/training/catalog/events/event.jhtml?sku=WEB408001>

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

The platform bar and MSP430 are trademarks of Texas Instruments.
All other trademarks are the property of their respective owners.

E010208

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司