

低 I_Q 同步降压转换器支持智能现场传感器应用

作者: Timothy Hegarty

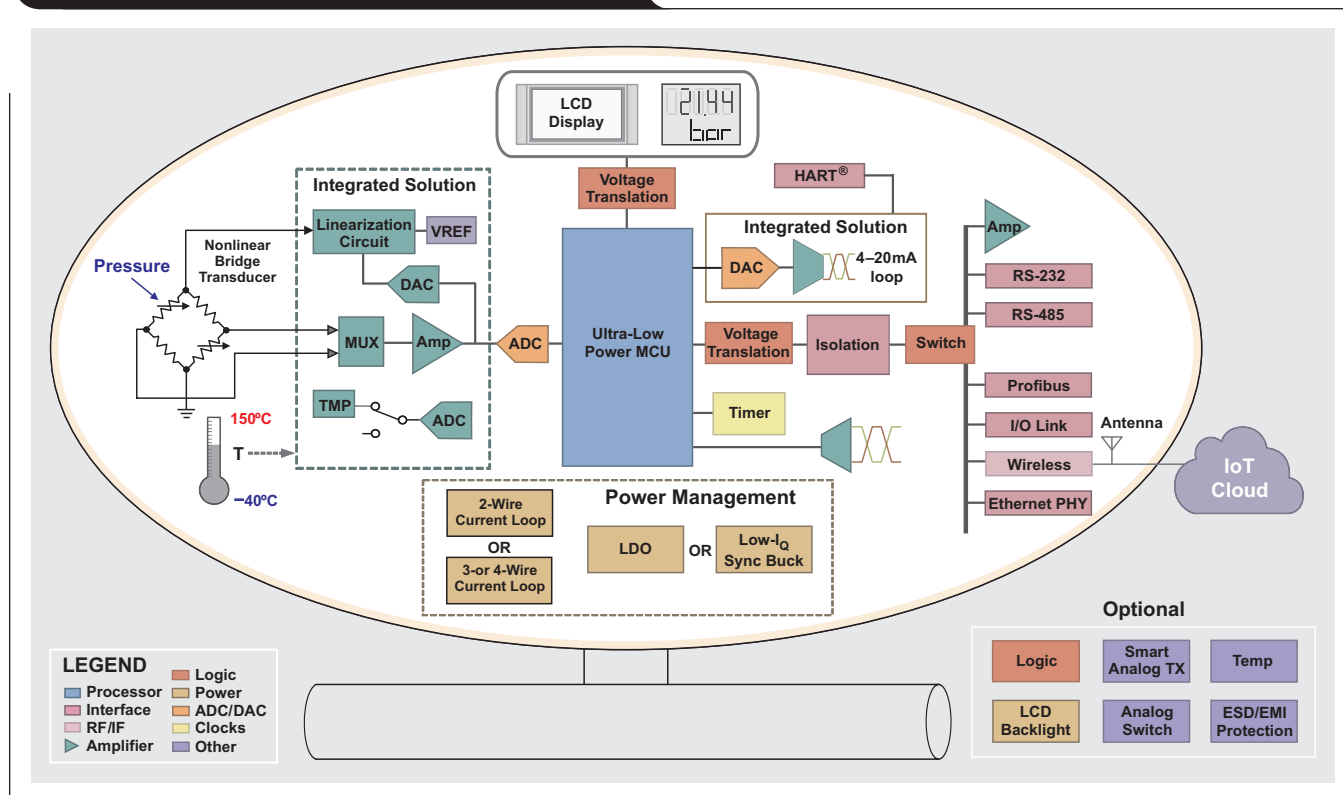
非隔离式电源解决方案系统工程师

引言

工业自动化和控制设备中用于测量温度、压力、流量、液位和许多其他过程变量的现场传感器变送器具有多个功能维度。为了便于理解,图 1 展示了压力传感器变送器的框图。图中包含 1/4 桥应变仪传感器、微控制器 (MCU)、数据转换器、输入放大器、输出驱动器、隔离器、显示单元、连接选项和电源管理部件。在工业环境中进行感应的主要挑战在于,能否在高噪声和大浪涌电压的环境下调节来自传感器的低幅度信号电平。^[1]

来自压力传感器变送器的输入信号需要转换为精确的电气参数,并通过可靠的接口从现场传送到中央控制单元。这种接口的一个示例是传统的两线制 4-20mA 电流环路,它仍然是在高噪声工业环境中进行远距离通信的常见选择。这种模拟环路除了向变送器电路供电外,还会传送感应到的主要变量 (PV),只要不超过最小环路电流阈值即可。^[2]

图 1. 工厂监控应用中的应变仪压力变送器



具有高电流需求的智能传感器系统

虽然基本传感器变送器电路的 MCU 和数据转换器通常针对低工作电流进行了优化(如图 2 所示),但高性能传感器应用因其各种特性和增强的功能而需要更高的电流。此类智能传感器系统可能无法满足 4-20mA 电流环路要求的典型标度以下电流阈值或 4mA 零标度电流。例如,可编程数模转换器(DAC)和环路驱动器(例如 DAC161S997)的默认 ERROR_LOW 电流阈值为 3.375mA,电流低于此值时将出现诊断故障信息。^[3]

为了提高环路供电式传感器变送器的可用功率,高效率的高压开关直流/直流转换器提供了一个内置电流倍增功能,这是典型低压降(LDO)线性稳压器所无法实现的。

电流预算增加后(超过 3.375mA 的低电流警报设定值),智能感应应用的开发人员能够灵活部署新功能。以下是几个示例。

1. 输入隔离变送器

输入隔离传感器变送器需要使用环路电源上的电隔离电源轨为传感器供电。传感器通常通过数字隔离器使用串行外设接口(SPI)跨越隔离栅进行通信。数字隔离器和隔离式功率级都需要相对较高的电流,并且系统仍需要模数转换器(ADC)、MCU 和 DAC,所有这些器件均在 4mA 以下的电流预算内。电源提供的电流增加时,还会使多通道数字隔离器更高速地处理数字信号。

2. 高性能 MCU

传感器输出线性化是为了满足精度规格而需要完成的一项重要任务。通常情况下,高性能 MCU 需要执行复杂的计算并提供不同级别的计算能力。因此可根据处理器速度、存储器、连接、外设和功耗优化等要求选择合适的 MCU。

3. 校准和高级诊断

器件状态信息、校准和诊断功能也会增加电流需求。例如,HART[®] 协议要求将 1mA 峰-峰值信号叠加在 4-20mA 环路的直流电流电平之上。^[4] 此

外,WirelessHART[®] 适配器可访问并以无线方式传送诊断信息。这些适配器还使用从有线变送器电流环路汲取的功率。^[5]

4. 多变量感应

许多应用可以感应两个或更多(主要和非主要)过程变量。^[6] 通常,主要变量取决于一个或多个次要变量。例如,用于天然气和蒸汽应用的质量流量变送器可感应差压(原始流量),并结合过程静态压力和温度测量值来补偿质量流量读数。当一个或多个变量对过程的安全性或质量尤为重要时,监视非主要变量会是有利的做法。

5. 远程显示和界面

一些两线制变送器能够显示信息或从操作员界面面板获取用户输入。远程显示单元和传感器变送器会消耗大于 4mA 的电流,具体大小取决于显示单元的复杂程度。

6. 具有高激励电流的低阻抗电桥

应变和压力传感器的常见电桥阻抗范围是 120Ω 至 10kΩ。使用 5V 电源时,120Ω 的电桥将消耗 40mA 的电流。有些解决方案使用与电桥串联的电阻器来增加电桥阻抗并降低电流消耗,但会降低传感器的输出灵敏度。更大的电流预算有助于提高传感器输出,从而降低模拟前端(AFE)的增益要求。

利用高效降压转换器为传感器供电

同步降压转换器必须可靠地为传感器电路供电,即使变送器在顺从电压(通常为 10V 或更低)工作时的最小输入功率状态下也是如此,该电压对应于环路正极和负极端子之间的电压(图 2)。因此,必须在 1mA 至 20mA 的输出电流范围内实现超高效率。此外,为了应对诸如 IEC 61000-4 系列测试所述的电源瞬态电压,具有宽输入电压范围(宽 V_{IN})的直流/直流解决方案提供了超大的额定电压和工作裕度。^[7, 8]

LM5165 是一个即使在电压波动较大时也能产生严格稳压输出的同步降压转换器示例。这款 150mA 的单片降压解决方案具有高效率 and 超低静态电流 I_Q ,还具有

图 2. 环路供电式温度变送器的顶层硬件架构

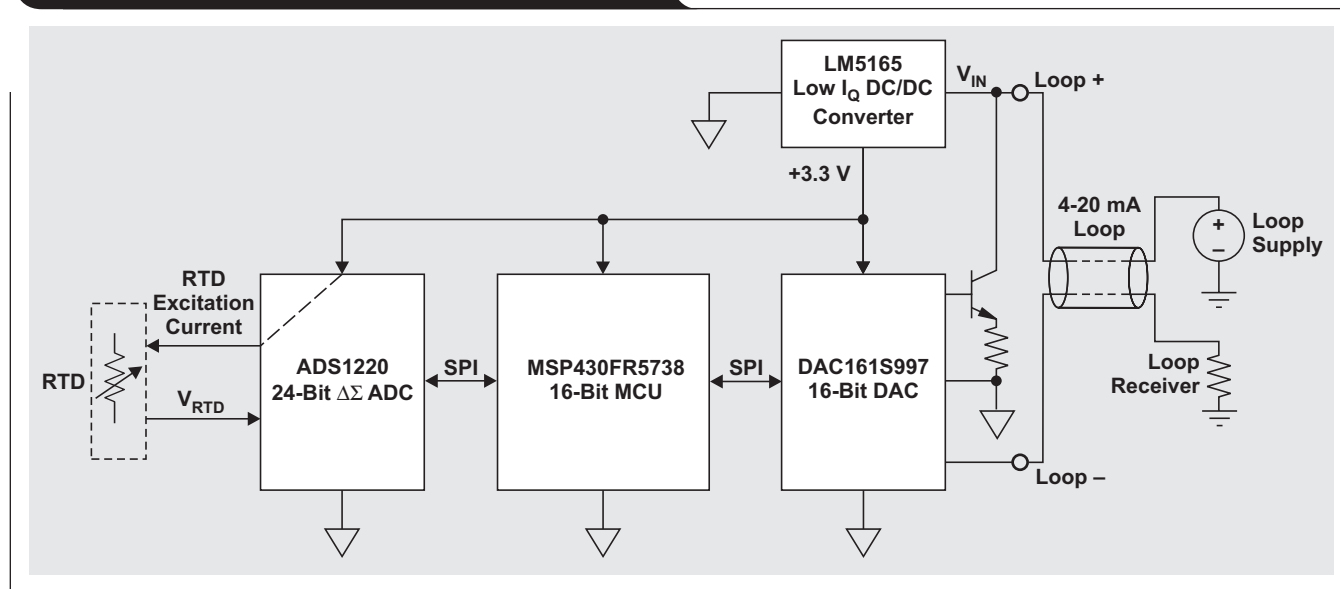
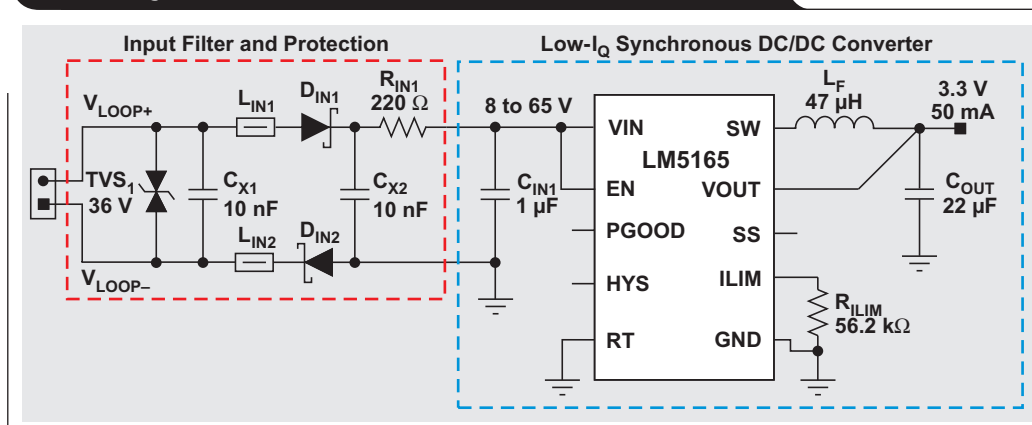


图 3. 低 I_Q 同步降压转换器包含输入滤波器和保护电路

20:1 的宽 V_{IN} 范围, 能够承受重复的 65V 浪涌, 其输出电压不受输入端上较大且有噪声的电压摆幅的影响。在必须具备高可靠性和更长产品生命周期的传感器应用中, 这种瞬态抗扰度至关重要。

图 3 展示了一个配备超元件的转换器原理图。图中添加了一个包括反极性和电涌保护功能的输入滤波器, 旨在实现 IEC 61000-4 合规性。

LM5165 采用紧凑的 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ WSON-10 封装并具有集成功率 MOSFET, 非常容易使用, 并且无需环路补偿元件。3.3V 和 5V 固定输出版本只需要一个滤波器电感器和两个电容器即可工作, 并且仅使用两个 0402 反馈电阻器就可配置可调的设定值。

稳健、可靠的降压转换器实现方案

图 4 所示为一个高密度转换器的实现方案。通过在固定输出版本中集成反馈电阻器, 可使用高电阻值。这种集成可实现较低的空载电源电流, 而不会影响噪声性能。该设计可显著降低系统产生的噪声, 因为它集成了高阻抗分压器, 并且采用了适当的布局来屏蔽敏感网, 使其免受任何系统级或转换器级噪声源的影响。^[9]

为增强可靠性和安全性而引入的各种特性包括内部固定或外部可调输出软启动 (SS), 以及用于可编程线路欠压锁定 (UVLO) 并具有可定制迟滞的精密使能端。其他特性包括可支持自动恢复的热关断特性以及用于时序控制和故障报告的开漏 PGOOD 指示器。该器件的逐周期峰值电流限制阈值可针对输出过载和短路提供固有的故障保护。此外, 该器件可通过轻松配置来降低其峰值电流限制, 从而使更小的电感器和电容器适用于高密度、低电流的应用。

输入 UVLO 配置

精密使能输入可支持带迟滞的可调输入 UVLO, 允许通过 HYS 引脚对迟滞进行独立编程, 从而满足应用特定的上电和断电要求。可使用外部逻辑信号来驱动 EN 输入, 从而开启和关闭输出, 以及实现系统时序控制或保护。特别是在传感器应用中, 宜在 V_{IN} 和 EN 之间使用电阻分压器来产生精密的输入电压导通和关断电平。设置 EN 后, HYS 引脚可用于增加所需的 UVLO 电压迟滞, 从而防止由环路电压噪声引起不必要的 UVLO 触发、由环路布线较长导致的高源阻抗, 或者在恶劣的工作环境中产生的高压耦合。

利用大降压比实现高效率

与高压 LDO 不同, 由于 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间的电压差, 同步降压转换器不会引起大的功率损耗或结温升高。为了确保电源解决方案的可靠性, 结温高于环境温度时, 保持结温的低增长至关重要。

图 4. 高密度同步降压转换器的实现方案

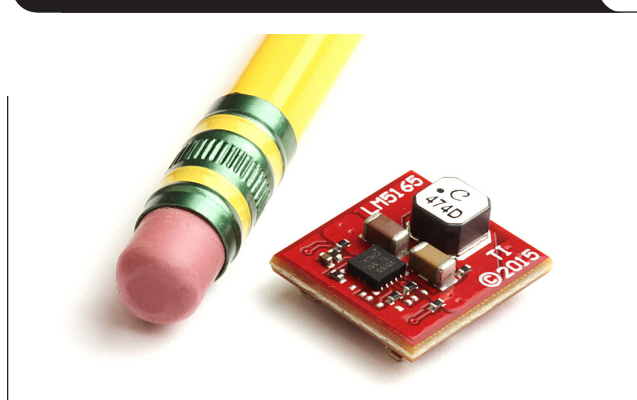
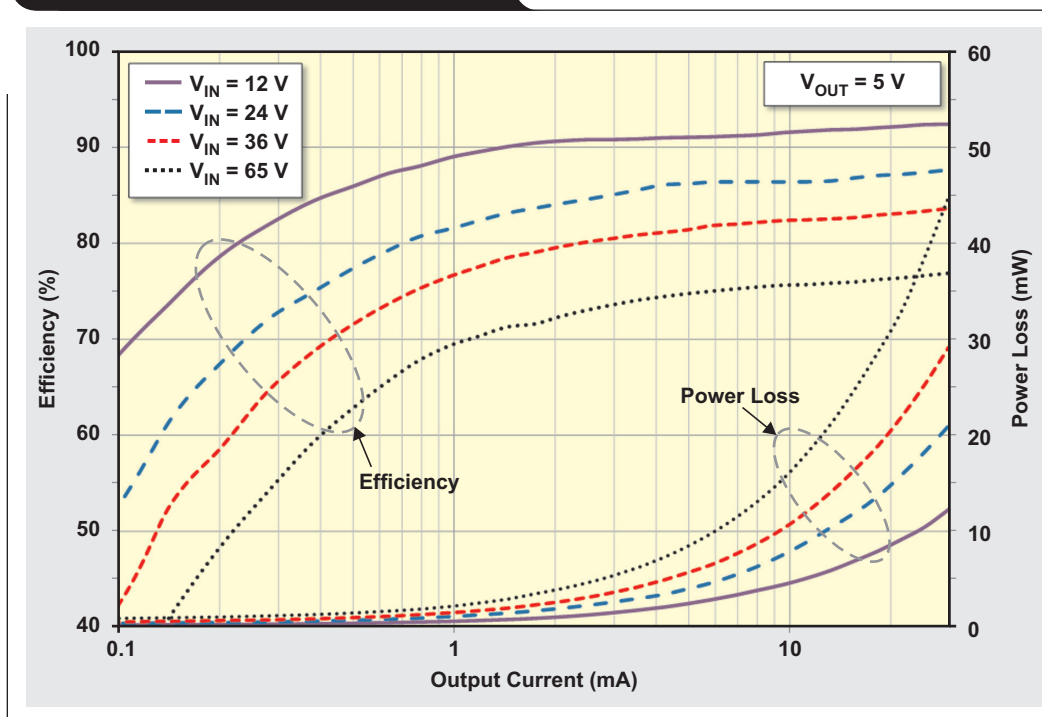


图 5. 降压转换器的典型效率性能



除二极管仿真和脉冲跳跃之外,在睡眠和有效工作模式下的低 I_O 会减少开关活动并尽可能降低开关功率损耗,从而确保在轻载条件下实现高效率。通过优化集成式功率 MOSFET 的开关操作,在较重的负载下也能持续保持高效率。

图 5 展示了当负载电流介于 1mA 和 30mA 之间时在关键工作区域内相对恒定的效率曲线。

结论

随着工业过程控制和分析、家庭/楼宇自动化、保健/医疗、智能计量等众多应用对智能互联感应需求的不断增长,有线和无线连接使可扩展性达到了新的水平。具有宽 V_{IN} 范围、高效率、小外形尺寸以及高线路瞬变抗扰度的可靠降压转换器日益受到青睐,用于对上述应用供电。在高密度 4-20mA 的环路供电式传感器节点,总偏置电流被限制为 3.6mA 或更低。

总电流预算必须保证为变送器的所有功能块(传感器接口和激励、MCU 线性化、电隔离层跳变(如果需要)、4-20mA 环路驱动器等)充分供电。所展示的解决方案是一款集成的稳健型直流/直流降压转换器,该转换器在宽电源电压和负载电流范围内具有超高的效率。最终实现的紧凑型解决方案显著降低了设计工作量。

参考文献

1. Peter Semig, Collin Wells 和 Miro Oljaca,《有关工业过程控制系统电阻式电桥压力传感器的设计提示》,德州仪器 (TI) 模拟应用期刊, SLYT640, 2015 年第 3 季度

2. Collin Wells,《两线制 4-20mA 传感器变送器》, Precision Hub TI 博客, 2015 年 3 月 1 日
3. NAMUR, No. NE 043,《数字变送器故障信息信号电平标准化》, 2003-02-03 版
4. 《MSP430™ 单芯片变送器参考设计 (HART 协议 + 调制解调器)》, TI Designs TIDM-HRTTRANSMITTER, 2015 年
5. HART® 通信协议
6. 《采用单电流环路和 FSK 调制的双路传感器测量参考设计》, TI Designs TIDA-00483, 2015 年
7. IEC Available Basic EMC publications, Testing Techniques/Immunity Tests, immunity specifications IEC 61000-4
8. “如何保护这些器件免受工业瞬变的影响?” TI E2E™ 社区, 精密数据转换器 Wiki
9. Timothy Hegarty,《直流/直流转换器的高密度 PCB 布局, 第 1 部分》, Power House TI 博客, 2015 年 9 月 11 日

相关网站

产品信息:

LM5165
LM5165-Q1
ADS1220
DAC161S997

TI 全球技术支持

TI 支持

感谢您的订购。如有疑问或需联系我们的支持中心, 请访问

www.ti.com.cn/support

中国: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

日本: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

技术支持论坛

在 TI 的 E2E™ 社区 (工程师对工程师) 中搜索数百万个技术问题和答案, 请访问

e2e.ti.com

中国: <http://www.deyisupport.com/>

日本: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

TI 培训

从技术基础到高级实施, 我们提供点播和直播培训以帮助您实现下一代设计。即刻体验, 请访问

training.ti.com

中国: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

日本: <https://training.ti.com/jp>

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

A011617

DCS-Control、E2E 和 MSP430 是德州仪器 (TI) 的商标。CPRI 是 NSN 的商标。HART 和 WirelessHART 是 HART Communication Foundation Corporation 的注册商标。PCI Express 是 PXI Systems Alliance, Inc. 的注册商标。Teflon 是 The Chemours Company 的注册商标。所有其他商标均属于其各自所有者。

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司