



设计概述

TIDA-00648 TI 设计是一款符合工业标准的 4mA 至 20mA 电流回路发送器。本设计允许向 4mA 至 20mA 电流回路注入采用频移键控 (FSK) 调制的数字数据, 以实现可寻址远程传感器高速通道 (HART) 通信。外部保护电路已经部署到位, 符合 IEC61000-4 标准针对瞬态放电 (EFT)、静电放电 (ESD) 和浪涌的要求。电磁兼容性 (EMC) 必须符合 IEC61000-4 标准, 从而确保本设计不仅可以耐受条件严苛的嘈杂工业环境, 同时能够在其中充分发挥自身性能。

设计资源

TIDA-00648	包含设计文件的工具文件夹
DAC161S997	产品文件夹
TPS7A1601	产品文件夹
MSP430F5172	产品文件夹
TIDA-00459	工具文件夹
TIDA-00245	工具文件夹
TIDA-00349	工具文件夹



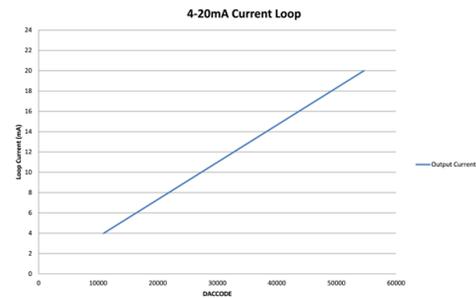
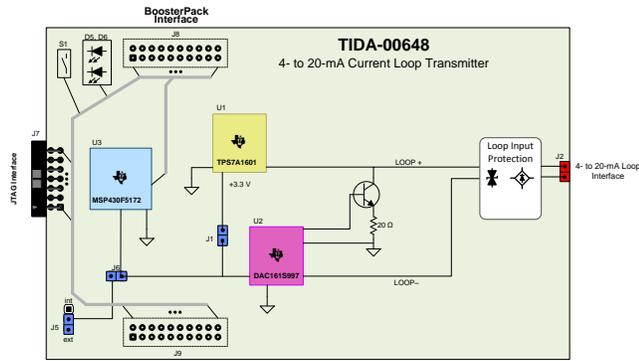
请咨询我们的 [E2E 专家](#)
[WEBENCH® 设计中心](#)

设计特性

- 4mA 至 20mA 电流回路输出信号
- 8V 至 33V 输入
- 16 位分辨率
- 回路误差检测和报告
- 可编程输出电流误差等级
- 可轻松连接可寻址远程传感器高速通道 (HART) 调制器
- 反向输入和过压保护
- 设计符合 IEC 61000 要求

特色应用

- 工厂自动化和过程控制
- 传感器和现场发送器制动器控制
- 制动器控制
- 楼宇自动化
- 便携式仪表



该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统主要技术参数

表 1. 系统主要技术参数

参数	规格与特性
输出信号	双线制 4mA 至 20mA 电流环路, 符合 NAMUR NE-43 标准
回路接口引脚的电源电压范围	8V 至 33V
持续反向输入电压	直流电压最高可达 -33V
最低电源电压	8V
电源电流消耗	< 3.3mA (为发送器的所有功能模块供电)
误差输出电流	下限: 3.375mA (典型值) 上限: 21.75mA (典型值)
反极性保护	持续
输入电流限值	< 50mA
浪涌瞬态抗扰度	设计符合 IEC 61000-4-5 标准: ± 1 kV 线路间电压 (DM)
运行温度	-40°C 至 +85°C
接口连接器	6A、3.5mm 双引脚 TH 端子模块, 用于回路接口

2 系统描述

在工业自动化和过程控制中，对过程变量进行监控并将其维持在适当等级至关重要。工业环境中的传感器会对温度、压力和流量等重要参数进行持续性或周期性测量。工业环境中感测技术的主要挑战是调节高噪声和高浪涌电压中存在的低信号电平。对于工业过程控制仪表，4mA 至 20mA 模拟电流回路通常用于传输模拟信号。20mA 和 4mA 分别表示信号范围的上限和下限。电流回路的主要优势在于互连接线中的压降不会影响信号精度，并且回路可为器件的运行供电。即使线路的电阻极大，电流回路发送器也能将电流维持在适当范围内，不会超出其最高电压性能。此类仪表用于测量压力、温度、液位、流量、pH 值或其他过程变量。但 4mA 至 20mA 电流回路还可用于控制阀门限位器或其他输出执行器。

本 TIDA-00648 参考设计采用 TI BoosterPack™ 接插模块来扩展设计中的 TI LaunchPad™ 开发套件的功能并添加了一个 4mA 至 20mA 接口。设计文件包括原理图、物料清单 (BOM)、板层图、Altium 文件、光绘文件和 TI MSP430™ 微控制器 (MCU) 固件。

3 框图

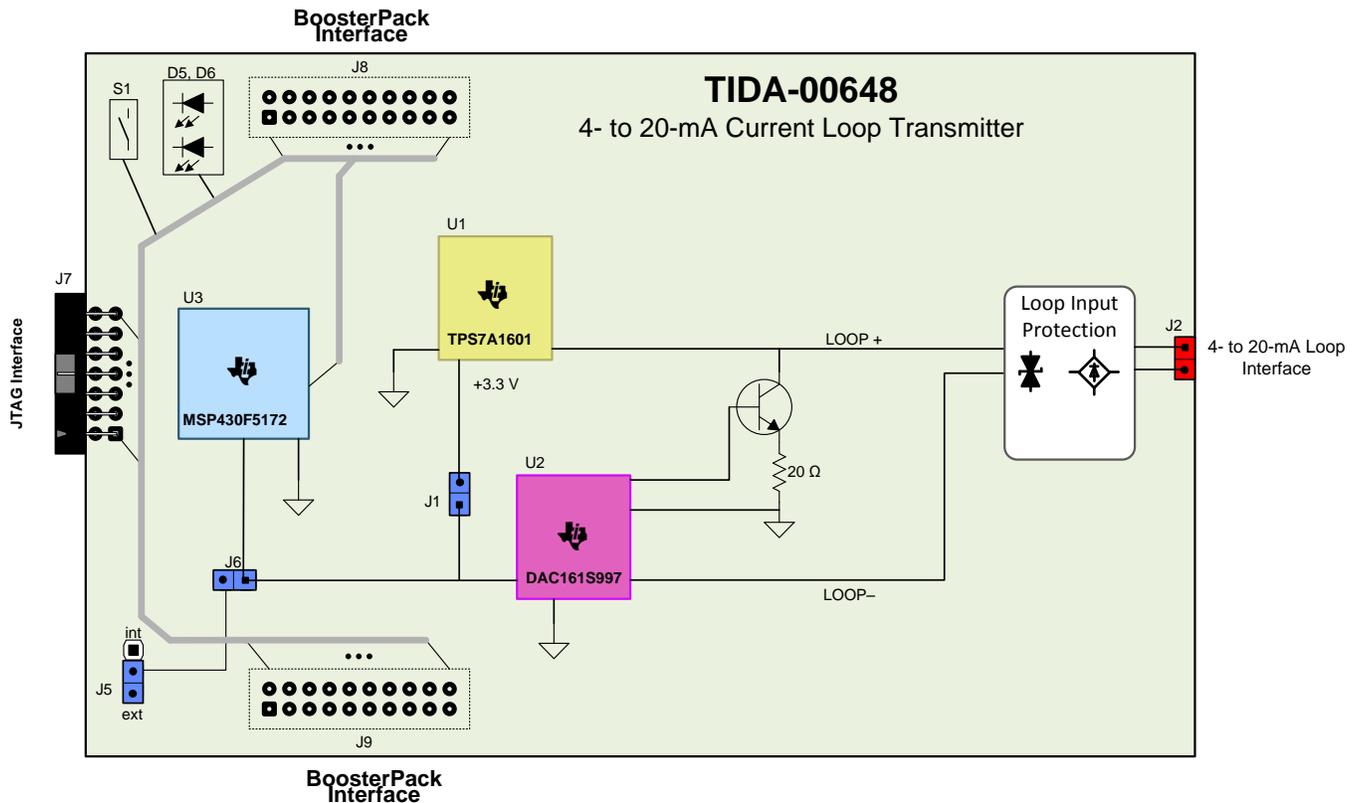


图 1. TIDA-00648 系统框图

本参考设计旨在设计一款稳健耐用的低功耗、高精度且长期稳定的双线制、由回路供电的 4mA 至 20mA 电流回路发送器。该电路板采用 BoosterPack 封装尺寸，具备以下附加功能：

- 回路输入保护：**

该功能可防止本设计因差分输入浪涌脉冲（符合 EN 61000-4-5 标准、最高可达 $\pm 1\text{kV}$ 、 42Ω ）及反向输入电压（或因错误接线而导致标称输入电压反向连接）而造成损坏。板载瞬态电压抑制 (TVS) 二极管可将浪涌脉冲限制在 60V 以下的安全电压水平。反向输入电压可连续施加。即使在施加反向输入电压，精度和其他性能参数也同时降低的情况下，完整电路功能仍然不受任何影响。
- 保护回路供电发送器内置电流感测电路的限流器和保护电路：**

回路输入电压的陡增会导致突发脉冲电流流经电源电路的输入电容。在初始上电或正向差模浪涌脉冲过程中，回路输入引脚的输入电压会发生陡增。回路电流由与其相连的发送器电路中相应的 4mA 至 20mA 数模转换器 (DAC) 进行感测和控制，因此该脉冲电流会流经该 DAC 内置的敏感分流器。流经此分流器的电流具有最大额定值。对于 DAC161S997，该电流应限制在 50mA 以下。使用一个简单的 200Ω 电阻及一个专用有效电流源即可实现这一目标。

3.1 重点产品

TIDA-00648 参考设计选用以下器件：

- DAC161S997
 - 用于 4mA 至 20mA 回路的 16 位串行外设接口 (SPI) 可编程 DAC
- MSP430F5172
 - MSP430F51x2 超低功耗混合信号 MCU
- TPS7A1601
 - 60V、5 μ A I_Q 、100mA 低压降稳压器

有关这些器件的具体信息，请参见 www.ti.com 上对应的产品文件夹。

3.1.1 DAC161S997

DAC161S997 是一款超低功耗 16 位 Σ - Δ 数模转换器 (DAC)，可在符合工业标准的 4mA 至 20mA 电流回路中发送模拟输出电流。DAC161S997 具备一个简单的四线制 SPI，可用于数据传输和 DAC 功能配置。为降低紧凑型回路供电应用的功耗并减少元件数量，DAC161S997 内置有一个超低功耗电压基准和一个内部振荡器。DAC161S997 的功耗较低，因此额外的电流可用于系统的其他部分。DAC161S997 的回路驱动器与 HART 调制器相连，可将采用 FSK 调制的数字数据注入 4mA 至 20mA 电流回路。DAC161S997 将上述规格与特性的完美结合，非常适合双线制和四线制工业发送器。DAC161S997 采用 4mm \times 4mm 16 引脚超薄型四方扁平无引线 (WQFN) 封装，可在 -40 $^{\circ}$ C 至 +105 $^{\circ}$ C 的扩展工业温度范围内额定运行。

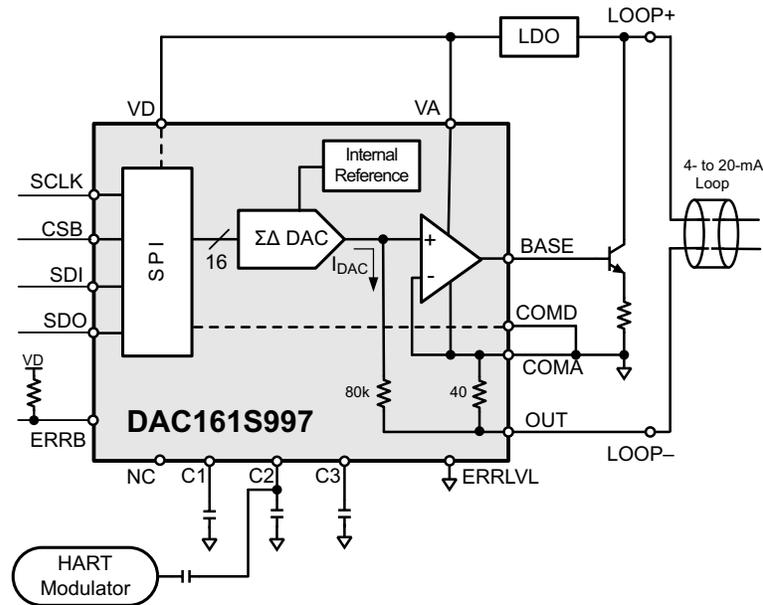


图 2. DAC161S997 框图

DAC161S997 的一些重要特性包括：

- 16 位分辨率
- 100 μ A 超低电源电流
- 5ppmFS/ $^{\circ}$ C 增益误差
- 引脚可编程上电条件

- 回路误差检测和报告
- 可编程输出电流误差等级
- 可轻松连接 HART 调制器
- 具有高度集成的功能集并采用小型 WQFN-16 封装 (4mm × 4mm, 0.5mm 间距)

3.1.2 TPS7A1601

工业环境中通常需要宽输入范围，以防瞬态变化较大而损坏低压降 (LDO) 稳压器。宽输入额定值拓宽了外部保护电路的设计，最大程度地节省了保护电路的成本和空间。即使输入发生高电压瞬变，具有宽输入范围的 LDO 也可将输出电源轨电压安全稳定于所需的 3.3V。这些高电压瞬变会产生高热量。因此，必须选择适当的封装便于散热。对于 4mA 至 20mA 回路供电传感器发送器，静态电流较低的 LDO 是最佳选择。用于校准性能的内部电路需要通过静态电流控制。将场效应晶体管 (FET) 用作内部导通器件可支持 5 μ A 超低静态电流，压降电压调节几乎与 LDO 的输出电流呈线性关系 (请参见图 4)。本应用选用的 LDO 器件是 TPS7A1601，该器件具备以下特性：

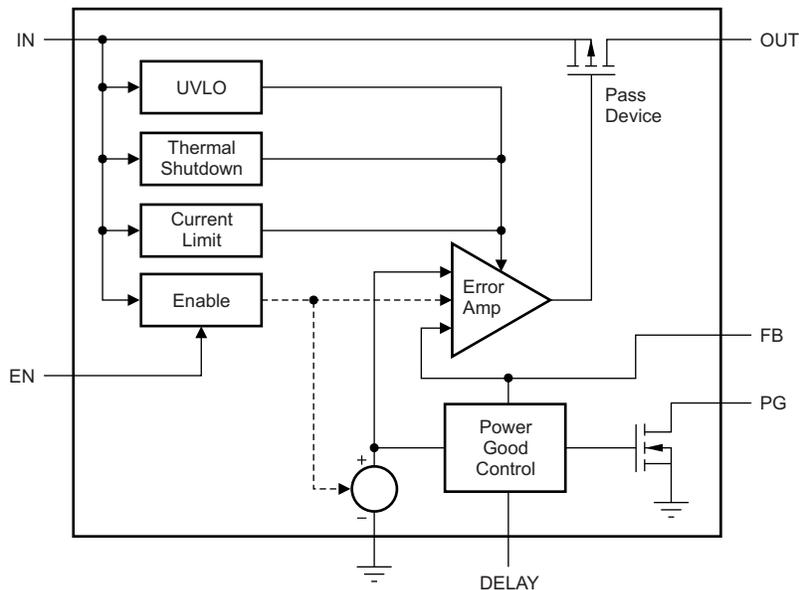


图 3. TPS7A1601 框图

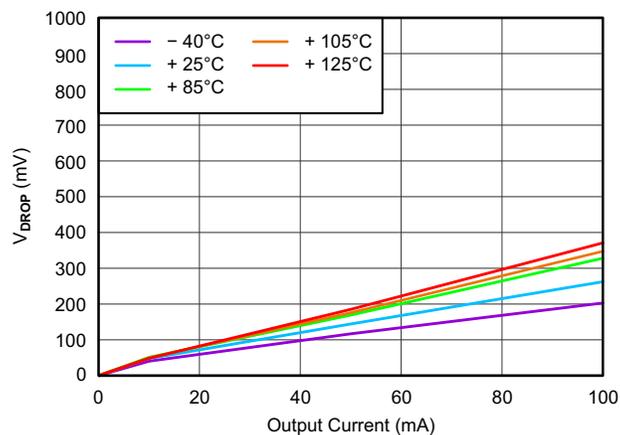


图 4. 压降电压与输出电流间的关系

本应用选用的 LDO 器件是 TPS7A1601，该器件具备以下特性：

- 3V 至 60V 宽输入范围
- 高精度 - 约为 2%
- 低压降电压 - 电流为 20mA 时约为 60mV
- 频率为 100Hz 时的电源抑制比 (PSRR) 为 50dB
- 超低静态电流 - 约为 5μA
- 与所有陶瓷电容 (2.2μF 至 100μF) 搭配使用时可保持稳定
- 高散热性能封装

3.1.3 MSP430F5172

TI MSP430 系列超低功耗 MCU 由多种器件组成。这些器件针对不同应用具有不同外设集。本应用选用的 MCU 是 MSP430F5172 (请参见图 5)。

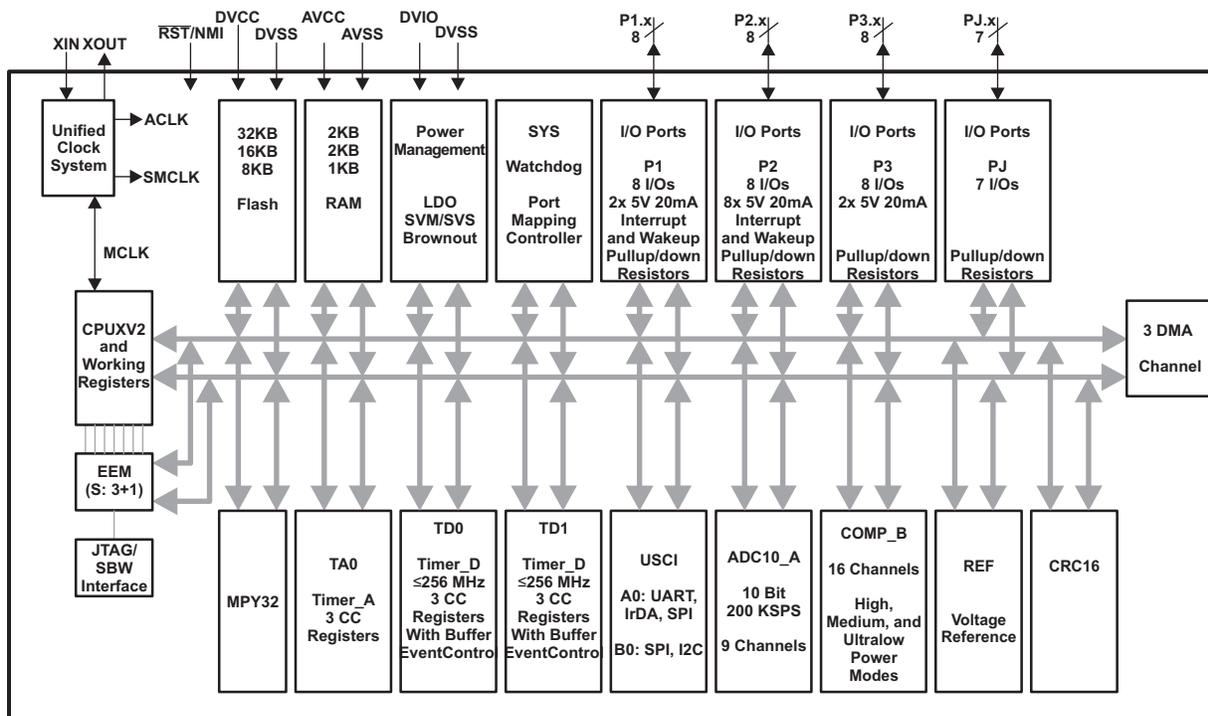


图 5. MSP430F51x2 框图

MSP430F5172 的一些重要特性包括：

- 低电源电压范围：1.8V 至 3.6V
- 超低功耗
 - 激活模式 (AM)：180μA/MHz
 - 待机模式 (LPM3 看门狗定时器 (WDT) 模式, 3V)：1.1μA
 - 关闭模式 (LPM4 随机存取存储器 (RAM) 保持, 3V)：0.9μA
 - 关断模式 (LPM4.5, 3V)：0.25μA
- 在 5μs 内从待机模式中唤醒
- 16 位精简指令集计算 (RISC) 架构、扩展存储器、40ns 指令周期时间

- 灵活的电源管理系统
 - 具有可编程稳压内核电源电压的完全集成 LDO
 - 电源电压监控、监视和欠压保护
- 单一时钟系统
 - 用于稳定频率的锁频控制环路 (FLL)
 - 低功耗低频内部时钟源 (VLO)
 - 低频修整内部基准源 (REFO)
 - 32kHz 晶振 (XT1)
 - 频率最高可达 25MHz 的高频晶振 (XT1)
- 硬件乘法器支持 32 位运算
- 3 通道直接存储器访问 (DMA)
- 多达 12 个 5V 耐压数字推挽式 I/O，驱动强度最高可达 20mA
- 具有 3 个捕捉/比较寄存器并支持高分辨率模式的 16 位定时器 TD0
- 具有 3 个捕捉/比较寄存器并支持高分辨率模式的 16 位定时器 TD1
- 具有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 TA0
- 通用串行通信接口 (USCI)
 - USCI_A0 支持：
 - 增强型通用异步收发器 (UART) 支持自动波特率检测
 - 红外数据通讯 (IrDA) 编解码器和解码器
 - 同步 SPI
 - USCI_B0 支持：
 - I²C
 - 同步串行外设接口 (SPI)
 - 10 位 200ksps 模数转换器 (ADC)
 - 内部基准
 - 采样和保持功能
 - 自动扫描功能
 - 多达 8 条外部通道、2 条内部通道，其中包括温度传感器
 - 通道多达 16 条的片上比较器，具备超低功耗模式
 - 板上串行编程，无需施加外部编程电压
 - 采用 40 引脚四方扁平无引线 (QFN) (RSB)、38 引脚薄型小外形尺寸 (TSSOP) (DA) 以及 40 引脚芯片尺寸球状引脚栅格阵列 (BGA) (YFF) 封装

4 系统设计原理

典型的电流回路系统基本上由 4 个组件组成，如图 6 所示（典型电流回路系统）。

- 传感器（温度传感器、压力传感器等）
- 4mA 至 20mA 电流回路发送器
- 回路电源
- 回路接收器（可编程逻辑控制器 (PLC)）

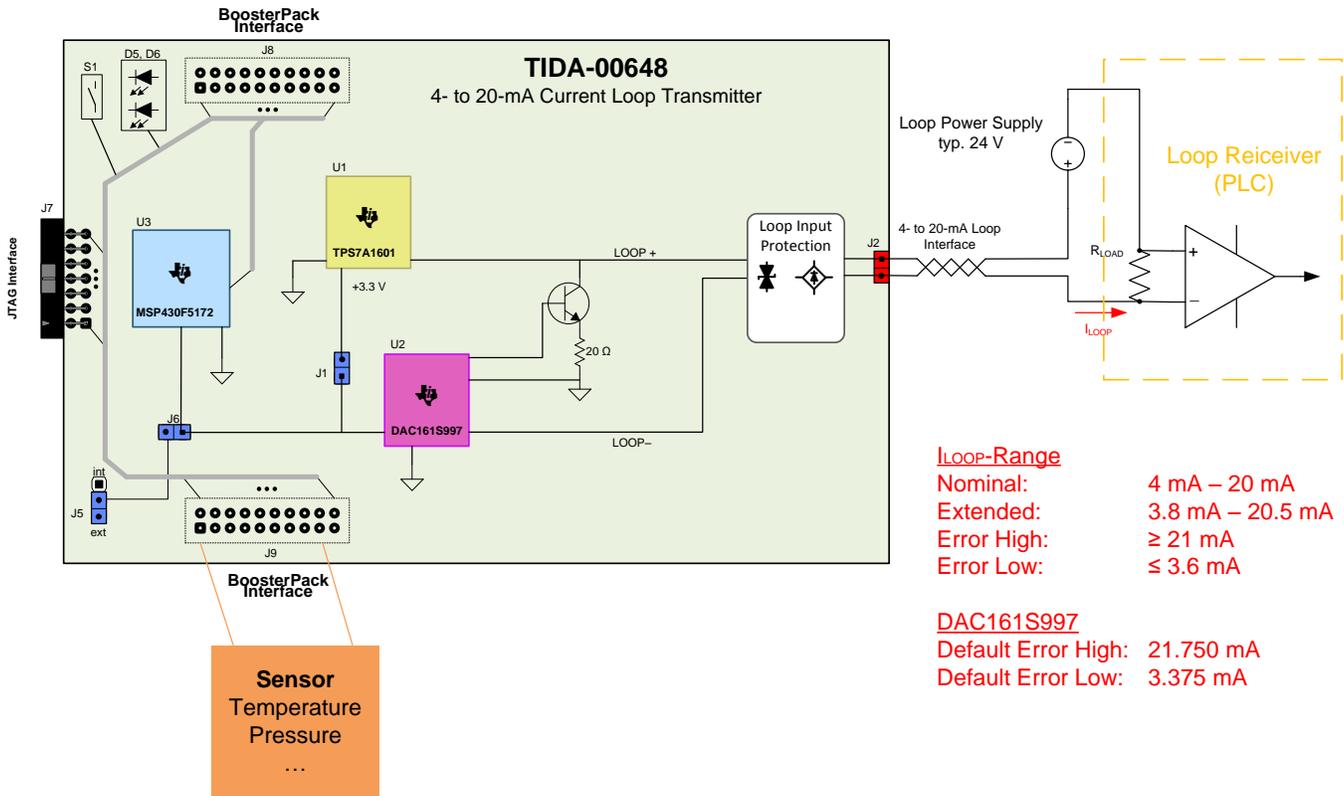


图 6. 典型电流回路系统

各类传感器指定的 BoosterPack 由德州仪器 (TI) 及第三方供应商提供。只需连接任意 BoosterPack 即可借助本

TIDA-00648 参考设计的 BoosterPack 方法为电路板轻松添加传感器功能。

传感器会将物理参数（例如温度）转换为等效电压输出。通过调节回路电源提供的电流，发送器将传感器输出转换为成正比的 4mA 至 20mA 直流电流。4mA 代表零值过程变量。20mA 代表满量程过程变量。因此，16mA 跨度可用于表示整个测量信息范围。流经回路接收器的精密负载电阻后，电流将流回电源。由于任何系统均无法直接测量电流，因此接收器首先将 4mA 至 20mA 回路电流转换为电压。该电压可以通过 PLC 系统的模拟输入模块轻松测量并进行进一步处理。

I_{LOOP} 的附加值或值范围（例如 NAMUR 建议指定的范围）[5]可将工作范围扩展为 3.8mA 至 20.5mA，从而支持调节、校准和溢出范围检测等操作。此外，建议使用低于 3.6mA 或高于 21mA 的回路电流进行故障检测。

通常优先选择随电压变化的电流作为信息载体，具体原因如下：

- 电流回路具有固有的噪声抗扰度。
- 由于存在接线电阻，因此长距离传输电流信号会产生压降（也称为电压损耗或回路压降）。然而，当回路电源电压足以补偿这些损耗并且依然满足发送器正常运行的合规电压（最低电源电压）要求时，信号幅值不受影响。

根据基本电路原理可知，信号线路各处的电流相同。这意味着回路电源提供的电流在流回电源时保持不变。

- 零点处的 4mA 残余电流支持轻松检测断路条件。如果要求电路处于 4mA 范围内，零点处的 4mA 残余电流还可使发送器上电。短路条件下的电流超出 20mA。因此，电流回路实现了自监视。
- 由于信号电流和发送器电源电流共用同一对导线，因此选择随电压变化的电流可最大限度地降低成本并简化安装操作。
- 由于信号电流和发送器电源电流共用同一对导线，因此选择随电压变化的电流可最大限度地降低成本并简化安装操作。

整个系统由回路电源（电压典型值为 24V）供电。该电源与回路接收器（通常为 PLC）及双线制回路供电发送器共同构成电流回路。双线电缆足以满足电气连接要求。

这两条导线用于为发送器供电，同时通过控制与发送器总流耗相等的回路电流 I_{LOOP} 发送信号。

在系统的回路接收器侧，回路电流会导致接收器内部负载电阻 R_{LOAD} 两端产生压降。该压降通常会被放大，然后转换为数字信号，以便在接收器内部进一步进行处理。PLC 等器件均为典型接收器。

典型负载电阻范围为几十 Ω 至几百 Ω 。假设 R_{LOAD} 为 500 Ω （示例值），对于 4mA 至 20mA 回路电流，该电阻两端的压降在 2V 至 10V 的范围内变化。

注：该压降会降低回路输入引脚 J2 的电压。回路电流越大，为发送器供电的电压就越低。

确保发送器在其性能规范内正常运行的最低电压称为合规电压（位于回路输入引脚 J2）。

4.1 DAC 工作原理

DAC 将 DACCODE 寄存器中的 16 位输入代码转换为等效的电流输出。 Σ - Δ DAC 输出是一种电流脉冲。该脉冲随后将在三阶阻容电路 (RC) 低通滤波器中进行滤波并升压，从而在器件的 OUT 引脚产生回路电流 (I_{LOOP})。

图 7 所示为回路供电发送器中 DAC161S997 的工作原理（为了便于说明，图中省略了电路细节）。

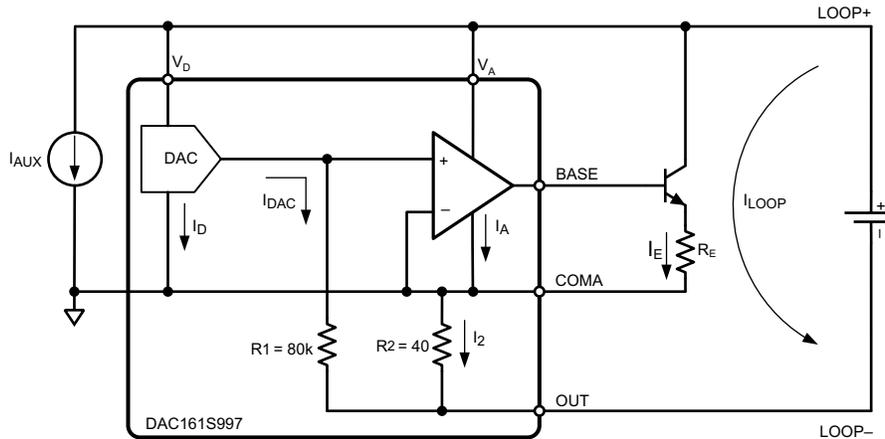


图 7. 回路供电发送器

在图 7 中， I_D 和 I_A 表示内部数字和模拟时钟的电源（静态）电流。 I_{AUX} 表示系统中配套器件（如稳压器和数字接口）的电源（静态）电流。由于放大器和双极性晶体管构成的控制回路强行使 $R1$ 和 $R2$ 的电压相等，因此 I_{LOOP} 在正常条件下仅取决于 I_{DAC} 。二者关系如下所示（请参见公式 1）：

$$I_{LOOP} = (1 + R1 / R2) \times I_{DAC}$$

其中

- $I_{DAC} = f \times \text{DACCODE}$ (1)

尽管 I_{LOOP} 具有多个电流分量 ($I_{LOOP} = I_{DAC} + I_D + I_A + I_{AUX} + I_E$)，但回路仅通过调节 I_E 维持公式 1 给出的关系。由于只有 I_E 的幅值受控，但方向不受控，因此 I_{LOOP} 存在下限。此限值取决于固定分量 (I_A 和 I_D) 及基于 I_{AUX} 的系统实施方案。

公式 2 表示由器件 OUT 引脚拉取的输出电流。

$$I_{LOOP} = 24\text{mA} (\text{DACCODE} / 2^{16})$$
 (2)

有效的 DACCODE 范围是一个 16 位完整代码空间 (0x0000 至 0xFFFF)，产生的 I_{DAC} 介于 $0\mu\text{A}$ 至 $12\mu\text{A}$ 左右的范围内。但是，该范围不会产生介于 0mA 至 24mA 之间的 I_{LOOP} 。OUT 引脚拉取的最大输出电流 (I_{LOOP}) 为 24mA 。最小输出电流取决于系统实施方案。最小输出电流等于 DAC161S997 内部模块电源电流 (I_A 和 I_D) 与系统配套器件电源电流 I_{AUX} 的总和。理论上需要控制最后一个电流分量 I_E 并使其降至 0。但基于控制回路稳定性的考虑，TI 建议不要将 I_E 降至 $200\mu\text{A}$ 以下。

图 8 中的图象给出了 4mA 至 20mA 发送器直流传输特性（包括最小电流限值）。回路供电发送器的最小电流限值通常约为 $400\mu\text{A}$ ($I_D + I_A + I_{AUX} + I_E$)。 I_D 的典型值为 $57\mu\text{A}$ ； I_A 的典型值为 $43\mu\text{A}$ 。 I_E 的值取决于使用的双极型晶体管 (BJT) 器件。

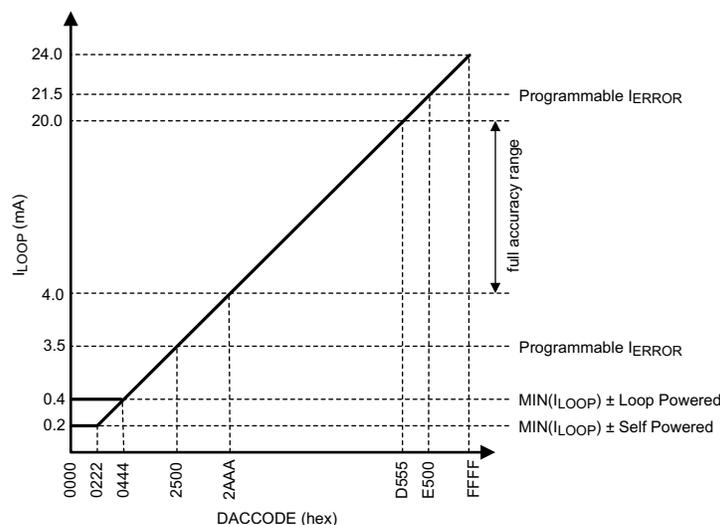


图 8. DAC-DC 传递函数

由于回路电源电压过高，因此 DAC161S997 无法直接与典型的 4mA 至 20mA 回路相连。回路接口必须提供将回路电源电压降至 3.3V 的方法。本设计采用的 TPS7A1601 器件用于将回路电源电压降至 3.3V 并为 DAC161S997 和 MSP430F5172 供电。用户必须考虑稳压器的静态电流会对可实现的最小 I_{LOOP} 产生直接影响。

回路接口的第二个组件是外部 NPN 晶体管 (BJT)。该器件是调节发送器输出电流 (I_{LOOP}) 的控制电路的一部分。由于 BJT 在较宽的电流范围内工作 (至少为 4mA 至 20mA)，因此无需通过退化发射器稳定晶体管的跨导 (g_m)。建议在典型应用中使用 20Ω 的退化电阻。有关电路的详细信息，请参见图 7。

不得将 NPN BJT 替换为 N 沟道 FET，具体原因如下：分立式 FET 的高阈值电压 (V_T) 通常介于 1.5V 至 2V 范围内，超出了 BASE 输出的最大范围；分立式 FET 产生的负载电容较高，可能会降低系统的稳定性裕度；此外，BASE 输出依赖于 BJT 的偏置基准电流。

4.2 电源设计

TPS7A16xx 系列超低功耗稳压器的优势包括超低静态电流、高输入电压以及采用微型高性能散热封装。TPS7A16xx 系列 LDO 允许的最高输入电压为 60V，因此这些 LDO 非常适用于发生高电压瞬变的工业应用。TPS7A1601 具有 1.194V 至 20V 的可调输出电压范围。该器件的标称输出电压通过两个外部电阻 R4 和 R5 进行设置，如图 9 所示。要设置 LDO 输出电压 ($V_{\text{CC}} = 3.3\text{V}$)，使用公式 3 计算电阻分压器分量。

$$R4 = R5 \times \left(\frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{REF}}} - 1 \right)$$

其中

- $V_{\text{REF}} = \text{LDO 内部基准电压} = 1.193\text{V}$ (典型值)
- 所选阻值 $R4 = 2.0\text{M}\Omega$, $R5 = 1.13\text{M}\Omega$

(3)

使用高值电阻时，请注意电路板是否受到污染。电路板污染会对电压精度产生显著影响。如果无法采取相关措施使电路板保持整洁，请考虑使用 TPS7A16 器件的固定电压版本或使用几百或几十 kΩ 左右的电阻。

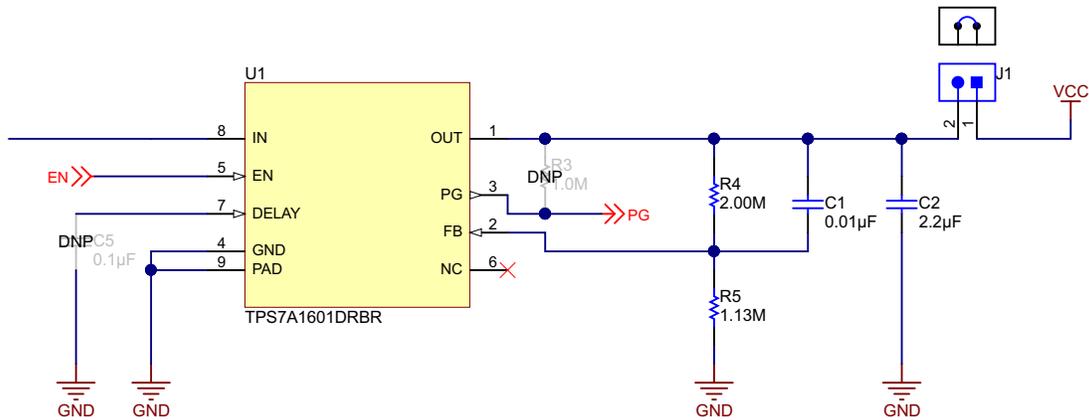


图 9. 具有可调节输出反馈的 LDO 电路

公式 4 用于计算 LDO 中的最大功耗:

$$P_D = (V_{IN_LDO} - V_{CC}) \times I_Q \quad (4)$$

假设在最糟糕的情况下，整个回路的最高电源电压 $V_{SUPPLY (MAX)} = 33V$ 施加于 LDO 输入两端。允许的最大 $I_Q = 3.3mA$ 。

$$P_D = (33V - 3.3V) \times 3.3mA = 98.01mW \quad (5)$$

TPS7A1601 器件的结至环境热阻 θ_{JA} 为 $44.5^\circ C/W$ 。

安全运行的温度为: $\theta_{JA} \times P_D + T_{A (MAX)}$ 。

TPS7A1601 器件在关断前的最高结温为 $170^\circ C$ 。根据公式 5 可知，TPS7A1601 器件在环境温度为 $85^\circ C$ 时的最差结温约为 $90^\circ C$ 。因此，TPS7A1601 器件预留了足够的热工作裕量，甚至可应对最糟糕情况下的功率耗散。

4.3 保护

4.3.1 IEC61000-4 保护

对于与回路直接相连的所有发送器模块和组件，本设计的输入过压保护功能会为其提供保护。

预期的最大标称输入电压由 PLC 的专用模块或独立电源（DIN 电源轨）提供。可能存在的过压现象主要由以下情况产生的瞬变和过压脉冲所致：

- 电源在上电过程中发生电压过冲
- 回路电缆与电压较高或发生瞬变的相邻电缆之间存在耦合和串扰
- 产生差模电压的浪涌、突变或 ESD 脉冲（例如在整个发送器认证过程的 EMC 合规性测试中使用的脉冲）

除了上述瞬变外，最重要的脉冲（符合 EN 61000-4-5 标准）是通过 42Ω 总电阻进行耦合并通过 $0.5\mu F$ 耦合电容以差分方式送入回路输入的 $8/20\mu s$ 浪涌脉冲。本电源设计以处理此关键浪涌脉冲为基础进行创建。

双向 TVS 二极管 (D3) 和陶瓷电容 (C3) 用于将回路输入引脚 J2 的所有过压瞬变钳位至与瞬态电压极性无关的安全电压。此过压钳位特性为发送器电子器件内置的 $4mA$ 至 $20mA$ DAC 控制的 BJT 提供了安全电压。

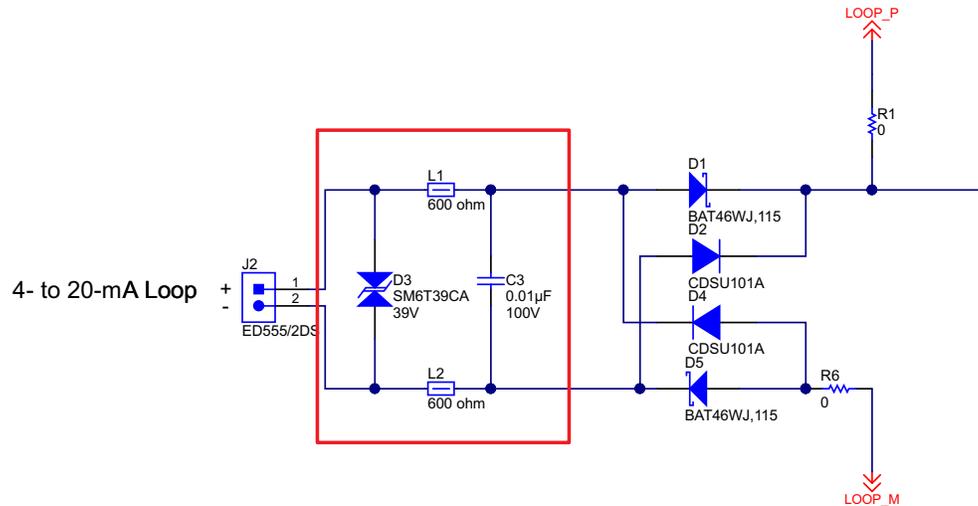


图 10. 输入过压保护

4.3.1.1 TVS 二极管选择 D3

要为本设计选择适当的 TVS，必须满足以下要求：

1. TVS 关断电压 V_{RM} (TVS 未导通时的电压) 必须高于最高标称回路输入电压，以防止 TVS 在正常运行期间导通。对于多数项目和应用，如果满足以下条件，即可视为未导通条件：TVS 的泄漏电流 I_{RM} 在给定的 V_{RM} 下低于 $100\mu A$ 。然而，DAC 始终未观察到保护模块内部的泄漏电流，但该电流流入了流经回路接收器的回路电流，这会产生误差。因此，本设计的泄漏电流必须远小于 $3\mu A$ 。由于泄漏电流通常随温度的升高而增大，因此必须同时给出 TVS 在本设计的最高标称回路输入电压与最高工作温度 ($85^{\circ}C$) 下的 I_{RM} 规范。
2. TVS 峰值电流和峰值脉冲功率规范必须高于特定设计条件下的浪涌电流和脉冲功率。多数 TVS 二极管制造商均会指定通过 $10/1000\mu s$ 双指数脉冲测试的器件。但是，进行浪涌测试的脉冲（符合 EN 61000-4-5 标准）为 $8/20\mu s$ 脉冲。在理想情况下，TVS 制造商还会提供有关此短脉冲的规范。如果未提供规范，则必须利用峰值脉冲功率与脉冲时间之间的关系图象。该图象说明了脉冲持续时间较短或较长对于 TVS 峰值脉冲功率的影响。对于脉宽较短的情况，TVS 可以承受较高的峰值脉冲功率。有关峰值脉冲功率与脉冲时间之间的关系图象，请参见相应的 TVS 二极管数据手册。
3. 当 TVS 导通并变为低阻抗以将电压钳位于安全水平时，TVS 的钳位电压 (V_{CL}) 在特定峰值脉冲电流 (I_{PP}) 和本设计最高工作温度下的值必须低于与该电压相连的电路的最高建议工作电压。本设计中受影响的器件包括：
 - TPS7A1601 - U1
 - 由 $4mA$ 至 $20mA$ DAC 控制的 BJT
 - 反极性保护电路中的二极管
 - 输入电容 C3

选定的 TVS 为 SM6T39CA，该器件满足以下三项要求：

1. I_{RM} (最大值)：温度为 85°C 且 $V_{RM} = 33.3\text{V}$ 时为 $1\mu\text{A}$ (远小于所需的 $3\mu\text{A}$)
 I_{RM} (最大值)：温度为 25°C 且 $V_{RM} = 33.3\text{V}$ 时为 $0.2\mu\text{A}$
2. 有关 $8/20\mu\text{s}$ 脉冲的数据手册规范如下：
 I_{PP} (最大值)：57A
 P_{PP} (最大值)：4kW
 两参数远高于应用特定值：
 I_{PP} ：约为 22.6A
3. V_{CL} (100°C 下为最大值) 约为 55V

4.3.1.2 选择输入电容 C3

为了对突变或 ESD 引起的高频瞬态电压进行旁路，选择 10nF 陶瓷 X7R 电容。凭借此电容的 100V 直流电压额定值，器件可与具有足够裕量的 TVS 钳位电压相匹配。

4.3.2 反向输入保护

反向输入电压保护支持发送器在回路输入 (J2) 的反向输入电压下工作。此类情况的示例如下：

- 因接线错误导致回路输入引脚的两条导线互换（互换可能一直持续）
- 负差模浪涌脉冲（可能因闪电导致或在根据 EN 61000-4-5 标准施加负 1kV 浪涌脉冲进行测试时产生）

正负输入引脚分别由保护二极管提供保护。肖特基二极管凭借其正向电压 (VF) 较低的特性成为保护二极管的首选。无论肖特基二极管是否发生正向偏置，其高温、反向电流 (IR) 较大（温度高于 85°C 时为几百 μA ）的特性都受影响。

单向整流器或半波整流器均可提供充分保护。例如由二极管 D1 和 D5（请参见图 11）组成的电路（不包括二极管 D2 和 D4）。半波整流器的缺点是整流二极管必须耐受整流器输出电压（通常在后续模块的旁路电容中储存）与所施加负电压的绝对值之和。以本设计为例，33V 与 60V 电压的总和接近 100V。

在针对正负回路输入引脚单独使用二极管的情况下，该电压可以平分。在实际情况中，由于两二极管之间的反向电流较大，尤其是在高温下使用肖特基二极管时，无法保证平均分压。

半波整流器配置的另一项缺点是电流丢失。这通常会在施加负输入电压的过程中使保护电路之后的模块处于活动状态。因此，全波整流器配置是更为合适的选择。该器件可将整流二极管两端的电压有效钳制为输入电压的绝对值。全波整流器配置还可确保向后续模块持续传输电流，即使施加反向输入电压也是如此。不过，如果仅使用肖特基二极管构建整流桥，几百 μA 的二极管反向电流 (IR) 会流入 TVS 二极管 (D3) 的 $1\mu\text{A}$ IR 中。因此，通过回路接收器测得的回路电流总误差将超出可接受范围。

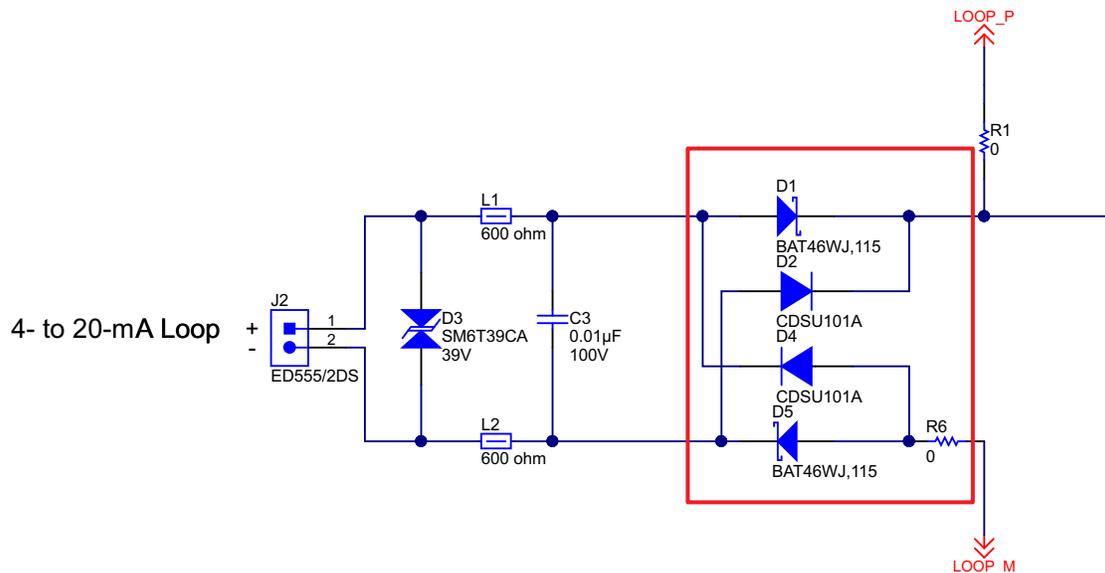


图 11. 输入反向保护

如上文的图 11 所示，搭配使用肖特基二极管和硅二极管可以同时发挥两种二极管的优势。当电源电流为 3.3mA 并且工作温度为 -40°C 时，两个正向偏置肖特基二极管 D1 和 D5 产生的最差总正向电压 (FV) 压降仅为 880mV。两个硅二极管 D2 和 D4 能够防止 D1 和 D5 因接线错误或负差动浪涌脉冲事件而被高于 60V 的电压损坏。

D2 和 D4 进行反向偏置。当工作温度为 85°C 时，TVS 二极管的 $1\mu\text{A}$ IR 中仅会流入 $1\mu\text{A}$ 附加反向电流 IR，因此生成的 $2\mu\text{A}$ IR 低于 $3\mu\text{A}$ 设计限值。

即使在 J2 反向施加回路输入电压，保护电路的输出也能向后续模块提供极性正确的电压。在这种情况下，硅二极管 D2 和 D4 为正向偏置。但是，这两个二极管的总 FV 压降处于最差情况（约为 1.9V）。该值是肖特基二极管产生的总压降（约为 900mV）的两倍多。两个肖特基二极管 D1 和 D5 进行反向偏置并作为一个整体使 $500\mu\text{A}$ 附加反向电流流入保护电路的总泄漏电流中。

即使在回路输入电压极性相反的情况下，发送器仍处于工作状态，但无法继续匹配发送器的精度规范。不过，一项明显的优势是发送器的电子器件在发生反向瞬变过程中不会掉电。这一优势意味着发送器在瞬变后即可恢复完整典型性能，不会因发送器内部电子器件重启而产生任何延时。

4.3.3 保护电流感测电路的限流器和保护电路

如图 12 所示，专用电路模块负责降低涌入电流或浪涌电流。在本设计中的主要作用是保护 DAC161S997 内部的 40Ω 电流感测电阻。涌入电流和浪涌电流产生的原因是在回路输入引脚施加的电压发生陡增。涌入电流或浪涌电流会对 C4 进行充电，其电压将由之前保持的数值升至与输入引脚电压相同的水平。这一充电过程会在下列事件中会出现：

- 初始上电期间 - 尤其在回路电源未设定专用低电流量值的情况下。
- 产生 33V 最高阶跃电压（最高输入电压）期间
- 产生 1kV 差动浪涌期间 - TVS 二极管 D3 会将该事件钳制在 60V 左右，这将产生 52V 阶跃电压。此类事件发生的条件是假设回路输入引脚的电压 V_{IN} 在产生 1kV 浪涌前为 8V（最小值）。

200Ω 电阻 (R2) 用作无源限流器。有源限流器（由 Q2、Q3 和 R20 至 R22 组成）可以轻松地将电流限制为通过 R21 编程的值。有源限流器可通过连接 R23 来禁用（短路）。

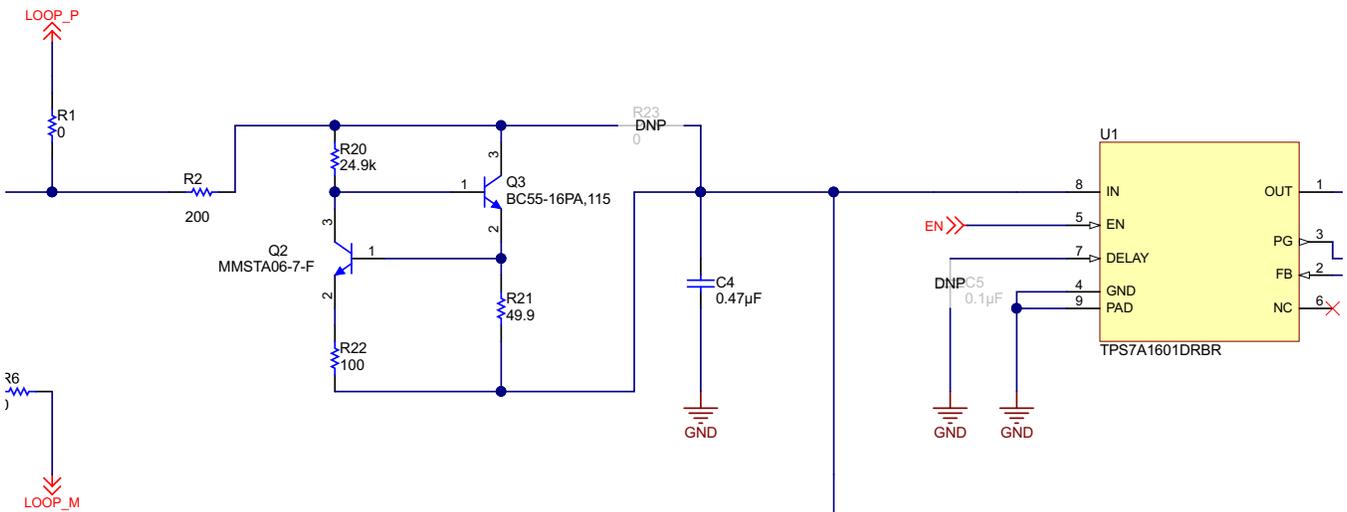


图 12. 限流器和感测电阻保护

在下文的图 13 中，电流的主要路径由 Q3 控制。公式 6 中的计算给出了主要电流之间的关系：

$$I_{OUT} = I_{IN} + I_{R21} + I_{R22} \tag{6}$$

- 如果 V_{IN} 与 V_{OUT} 之间的电压差值（指定为 $V_{IN} - V_{OUT}$ ）小于 2.5V，则 Q2 和 R22 对于电流的影响可忽略不计。
- 在电压差小于 2.5V 的范围内，输出电流完全由 Q3 通过 R21、R20 和 R21 提供。Q3 的直流电流增益决定了 I_{OUT} 的值。R20 通过基准电流 I_{BQ3} 对 Q3 进行偏置。对于 $V_{IN} - V_{OUT}$ 等于 2.5V 的情况， I_{OUT} 处于 9mA 范围内。
- 对于电压差大于 2.5V 的情况，Q2 激活并最终尝试将 R21 两端的电压维持在其基准发射电压 V_{BE} 与 R22 两端压降之和。
- 对于 $V_{IN} - V_{OUT}$ 介于 3V 到 40V 之间的情况， I_{OUT} 会由 10mA 升至略高于 15mA 的水平（请参见图 14）。
- R22 可针对温度变化使电路保持稳定状态。

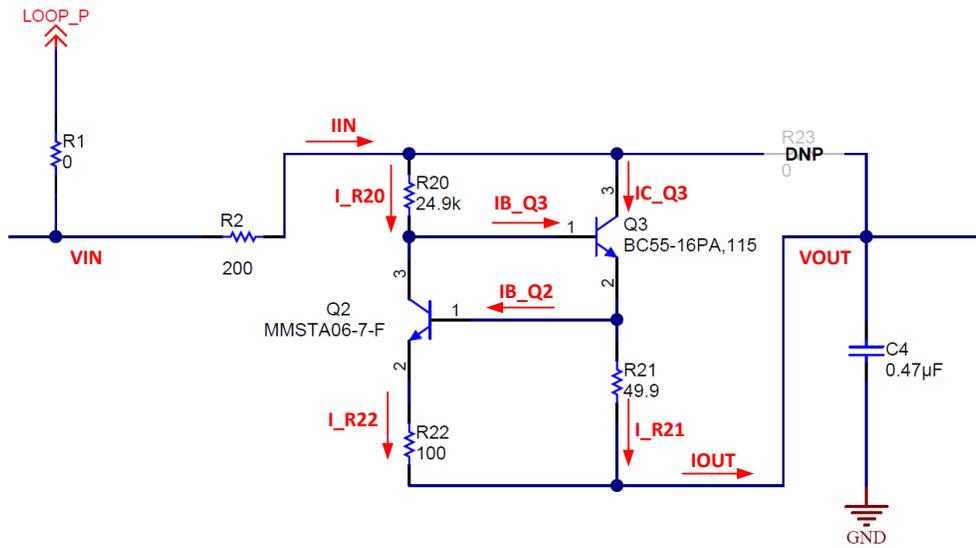


图 13. 有源限流器 - 原理图和工作原理

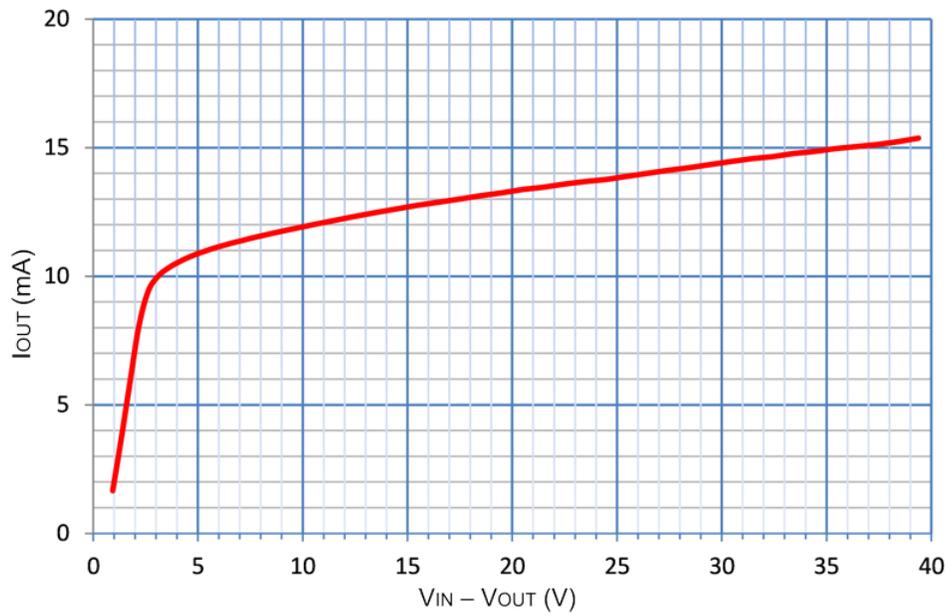


图 14. 有源限流器特性 - I_{OUT} 与 $V_{IN} - V_{OUT}$ 间的关系

5 硬件入门

5.1 插头和跳线位置

图 15 所示为 TIDA-00648 电路板的默认跳线设置。

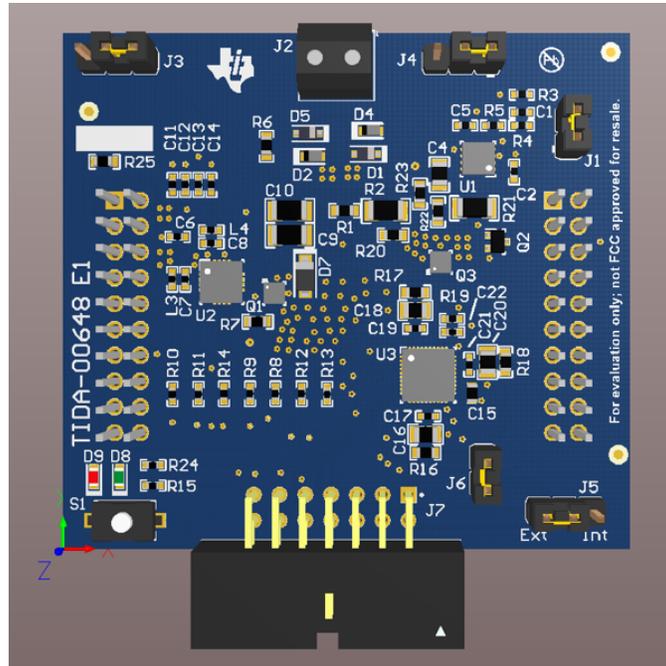


图 15. TIDA-00648 电路板

表 2 列出了各插头的不同功能。

表 2. 插头功能

插头	说明
J1	J1 可用于测量流入发送器所有内部电子器件的电流。
J2	J2 用于连接 4mA 至 20mA 电流回路。
J3	J3 用于在上电或错误条件下设置输出电流。
J4	J4 用于导通或关断 TPS7A1601。如果引脚 1 和引脚 2 相连，稳压器启用；如果引脚 2 和引脚 3 相连，稳压器关断。
J5	如果在调试过程中由 TPS7A1601 器件供电，则确保跳线 J5 的引脚 2 和引脚 3 相连。如果不提供本地电源而通过调试接口供电，则确保跳线 J5 的引脚 1 和引脚 2 相连。
J6	如果电路板由 MSP-FET 调试器供电，J6 可用于测量电流。
J7	J7 是 JTAG 和 UART 反向通道连接器。
J8	J8 是 BoosterPack 接口。
J9	J9 是 BoosterPack 接口。

5.2 电源选项

如果对 4mA 至 20mA 回路施加介于 8V 至 33V 范围内的电压，TPS7A1601 器件可为 MSP430F5172 提供 3.3V 电压。DAC161S997 和 MSP430F5172 通常由此 3.3V 电压供电。如果在调试过程中使用 TPS7A1601 器件提供 3.3V 本地电源，则确保将跳线 J5 的引脚 2 和引脚 3 相连。如果不提供本地电源而通过调试器接口 (MSP-FET) 供电，则确保跳线 J5 的引脚 1 和引脚 2 相连 (请参见图 16)。如果使用 MSP-FET 工具为电路板供电，必须通过移除跳线 J1 来断开 TPS7A1601 器件。

5.3 UART 反向通道

UART 反向通道功能通过 MSP-FET 工具实现并获得支持。此 UART 反向通道可用于与 TIDA-00648 设计进行通信。图 16 所示为 JTAG 接口和 UART 反向通道的电路原理图。

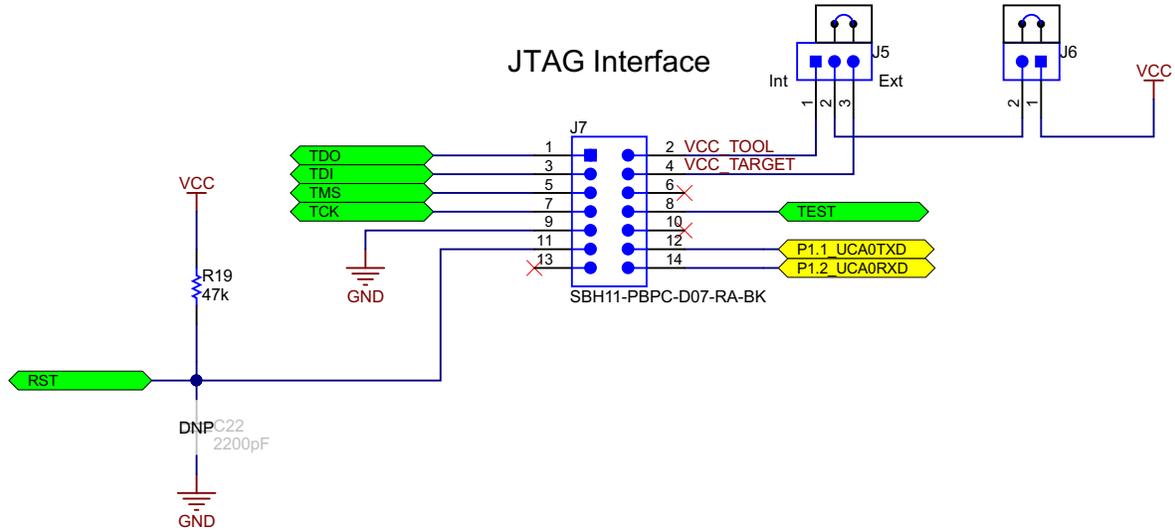


图 16. JTAG 接口和 UART 反向通道

6 固件入门

要下载本参考设计的软件文件，请参见 [TIDA-00648](#) 上的链接。

6.1 软件设置

1. 在将 MSP-FET 与 PC 相连之前，请先安装 TI Code Composer Studio™ (CCS) 软件。在安装 CCS 的过程中，USB 驱动程序也将自动安装。确保使用的 CCS 为最新版本；否则，USB 驱动程序可能无法识别 MSP-FET。
2. 使用提供的 USB 电缆将 MSP-FET 与 PC 的 USB 端口相连。
3. 使用 Windows® 操作系统时，以下步骤适用：
 - (a) 由于安装集成开发环境 (IDE) 的过程中已安装 USB 设备驱动程序，因此 MSP-FET 与 PC 相连后，PC 应能自动识别 MSP-FET。
 - (b) 如果尚未安装驱动程序，将启动发现新硬件 (Found New Hardware) 向导。请按照向导中的相关说明进行操作并找到驱动程序文件。
 - (c) CCS 的默认安装路径为 `C:\ti\lccsv6\lccs_base\emulation\drivers\msp430\USB_CDC`。
4. 与 PC 相连后，MSP-FET 将执行自检。如果自检成功，则绿色发光二极管 (LED) 保持常亮。
5. 如果在调试操作过程中由外部电源供电，则确保跳线 J5 的引脚 2 和引脚 3 相连。如果由于不提供本地电源而需要通过 MSP-FET 调试器接口供电，则确保跳线 J5 的引脚 1 和引脚 2 相连。如果使用 MSP-FET 工具为电路板供电，必须通过移除跳线 J1 来断开 TPS7A1601 器件。
6. 使用 14 芯电缆将 MSP-FET 与 TIDA-00648 电路板的 JTAG 连接器 J7 相连。
7. 将 CCS 项目 (`TIDA-00648_firmware.zip`) 导入 CCS。
8. 编译固件并将其下载至 TIDA-00648 电路板上的 MSP430F5172 器件。

6.2 演示软件

每次按下 S1 按钮，DAC 的输出均会增加 1mA（电流值在 4mA 至 24mA 之间变化）。

DAC161S997 的输出值可通过 UART 进行设置。UART 反向通道功能通过 MSP-FET 工具实现并获得支持。此 UART 反向通道可用于与 TIDA-00648 设计进行通信。发送字符“R”将 DAC161S997 输出值重置为 0x0000。如果发送字符“U”，DAC161S997 的输出值将以 1 递增。UART 的波特率为 115200 波特。

6.3 软件函数文档

`DAC161.c` 文件包含通过 SPI 使用的 DAC161S997 标准命令和控制操作。提供设置、配置和控制 DAC161S997 的函数。

```
void DAC161_Write_Regs (unsigned short *writeValues, unsigned char startReg, unsigned char lengthBytes)
```

说明：该函数用于对 DAC161S997 执行寄存器写访问命令。该函数可用于更新 DAC161S997 中的一个或多个寄存器。由于不执行错误校验，因此用户应自行确保写操作不会超出 DAC161S997 寄存器的末位。

参数：

`*writeValues` - 指向 DAC161S997 中的 8 位寄存器值列表的指针

`startReg` - 第一个需要写入的寄存器的地址

`lengthBytes` - 需要写入的寄存器数量

*void DAC161_Read_Regs (unsigned char *readValues, unsigned char startReg, unsigned char lengthBytes)*

说明：该函数用于对 DAC161S997 执行寄存器读访问命令并返回生成的数据。该函数可用于读取 DAC161S997 中的一个或多个寄存器。由于不执行错误校验，因此用户应自行确保写操作不会超出 DAC161S997 寄存器的末位。

参数：

**readValues* - 指向 DAC161S997 中的 8 位寄存器值列表的指针

startReg - 第一个需要读取的寄存器的地址

lengthBytes - 需要读取的寄存器数量

void Setup_DAC161 (unsigned short errConfig, unsigned short errLow_uA, unsigned short errHigh_uA)

说明：该函数用于配置 DAC161S997。

参数：

errConfig - DAC161S997 的误差配置

errLow_uA - 低误差输出电流 (mA)

lerrHigh_uA - 高误差输出电流 (mA)

void DAC161_Reset (void)

说明：该函数在 SPI 总线上向 DAC161S997 发送 NOP 命令。如果未接收到 SPI 主器件的常规命令，DAC161S997 将检测到超时并进入故障状态。该命令可用于通知 DAC161S997 系统仍在运行，但无需更改 DAC161S997。

参数：无

void DAC161_Set_Out_Value_uA (unsigned long uAmps)

说明：DAC161S997 设计为在 4mA 至 20mA 系统中使用。该函数用于设置所需输出电流。

参数：*uAmps* - DAC161S997 的输出值（以 μA 为单位）

void DAC161_Set_Out_Value (unsigned short value)

说明：该函数用于以 16 位十六进制格式设置所需的 DAC161S997 输出

参数：*value* - DAC161S997 输出的 16 位十六进制值

unsigned char DAC161_Read_Status (void)

说明：该函数用于返回 DAC161S997 状态寄存器中的当前值。

参数：无

返回：DAC161S997 状态 (DAC161_FERR_STS、DAC161_SPI_TIMEOUT_ERR、DAC161_LOOP_STS 和 DAC161_CURR_LOOP_STS)

void USCIB0_setupMasterSPI(void)

说明：该函数用于对 SPI 主器件的 USCI_B0 模块进行初始化。

参数：无

*void USCIB0_SPI_write (unsigned char *outData, unsigned char *inData, unsigned char length) unsigned char USCIB0_SPI_writeByte (unsigned char data)*

说明：该函数用于执行 SPI 通信序列以读取 SPI 总线中的数据或向 SPI 总线写入数据。

参数：

outData - 该指针指向带有需要在 SPI 总线中写入的数据的数组

inData - 该指针指向储存从器件返回的数据的数组（发送的每个字节对应一个字节，命令字节同样适用）

length - 需要发送和接收的字节数

7 测试设置

本设计的主要目的是避免保护电路对系统总体性能产生负面影响。术语“系统性能”与回路电流控制精度密切相关。该精度的基础实际是对回路电流的精确感测。泄漏电流 (IR) 虽然不会流经 DAC161S997 内部的 40Ω 电流感测电阻, 但对于上述精度至关重要。DA161S997 始终未观察到保护模块内部的泄漏电流 IR, 但该电流流入了流经回路接收器的回路电流, 这会产生误差。

对于测试设置, MSP-FET 工具的反向通道 UART 用于与 MSP430F5172 器件进行通信以及设置不同的 DAC 输出值 (请参见图 17)。4mA 至 20mA 回路接口的输出 (请参见图 18) 通过 $8\frac{1}{2}$ 位万用表进行记录。

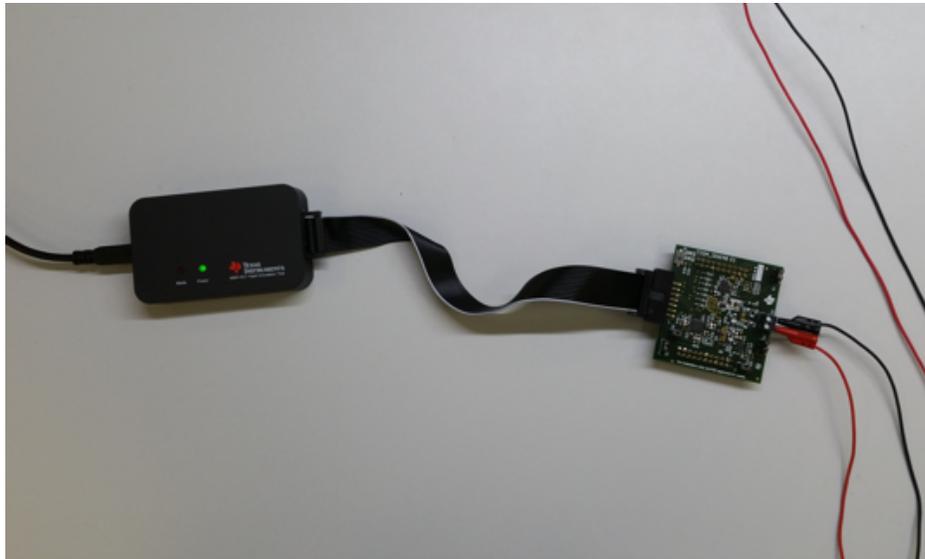


图 17. 测试设置

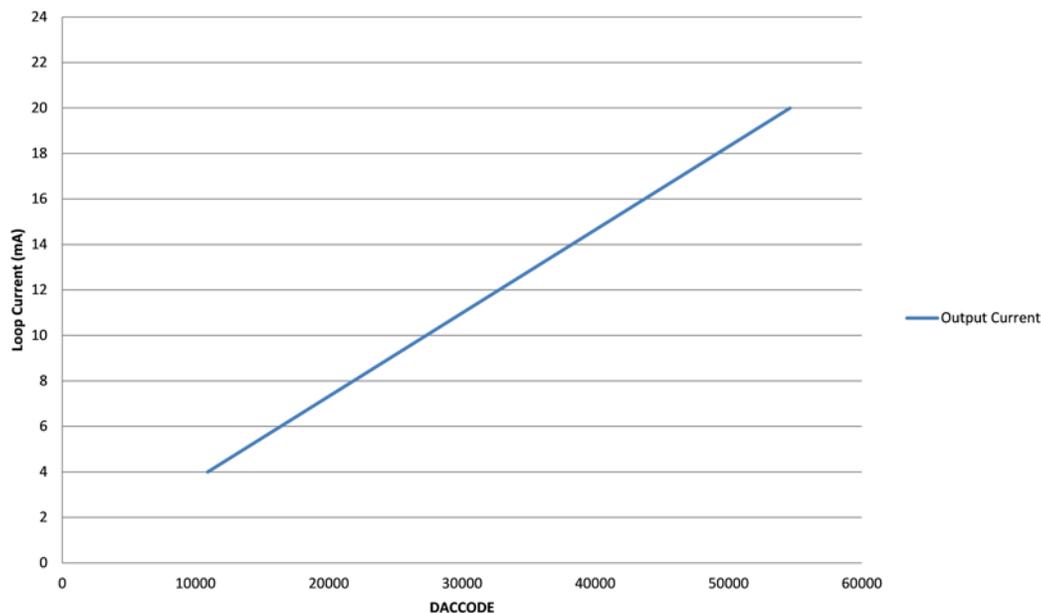


图 18. 4mA 至 20mA 电流回路

8 测试数据

8.1 回路电压影响和 DAC 噪声误差

对于回路电压影响测试，将电压设置为 8V、24V 和 33V 并记录相应的回路电流变化。针对此测量操作，通过编程将 DAC 输出设定为 4mA 固定输出电流。在每种电压设置下分别测量 50 次。在无增益或偏移校准的情况下，回路电流总偏差相对于回路电压的变化情况如图 19 所示。

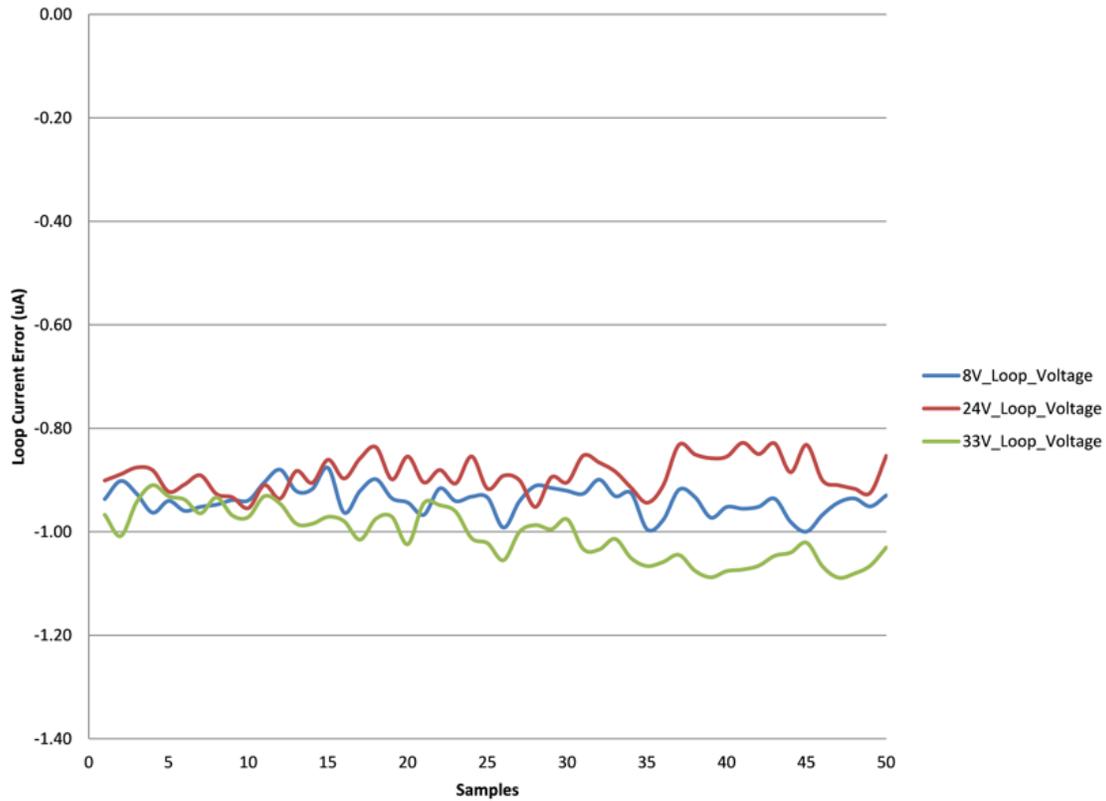


图 19. 回路电压影响和 DAC 噪声误差

8.2 回路电流输出误差

要执行 DAC 误差特性化操作，通过编程将 MSP430F5172 器件设定为生成 4mA 至 20mA 的输出回路电流。每次在 UART 反向通道中接收到字符“U”，输出电流均会增加一个 DACCODE 所对应的电流值。输出回路电流通过 8½ 位万用表进行测量。图 20 给出了回路电流输出误差。要提高精度，可以在 MSP430F5172 软件中校准偏移和增益。

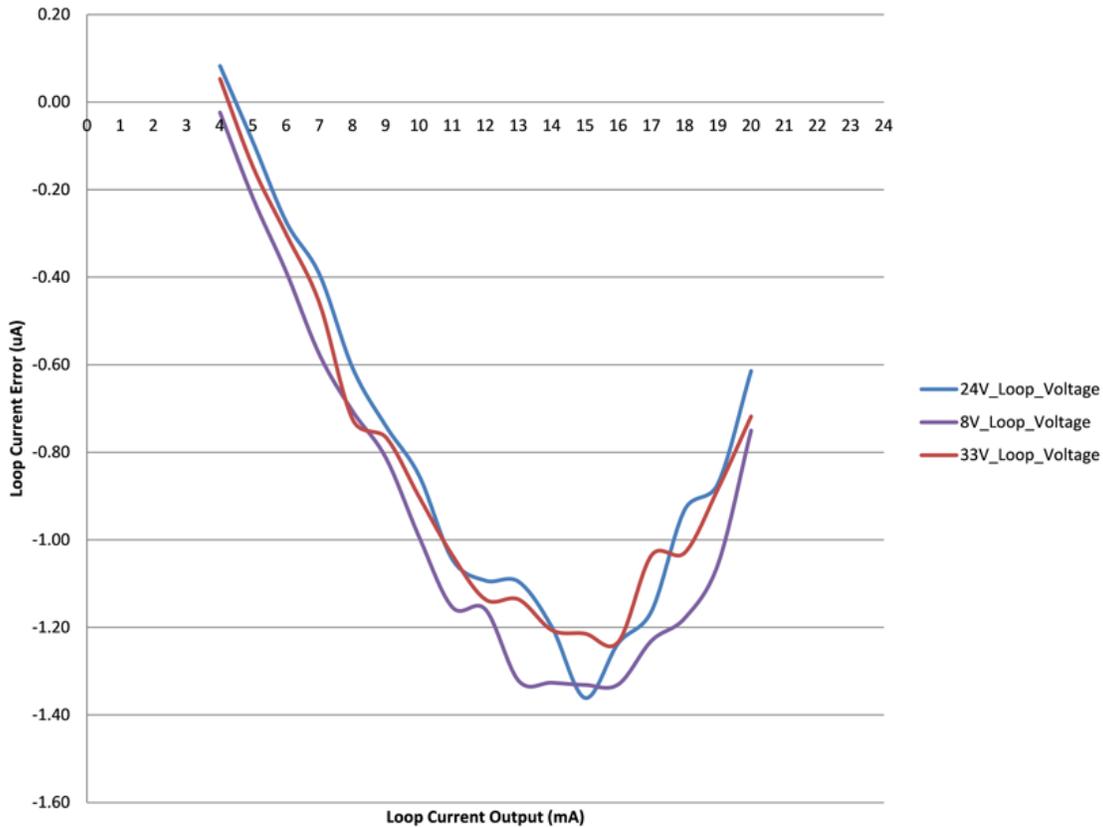


图 20. 回路电流输出误差

9 设计文件

9.1 电路原理图

要下载各电路板的电路原理图，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

9.2 物料清单

要下载每种电路板的物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-00648](#) 上的设计文件。

9.3 印刷电路板 (PCB) 布局建议

TIDA-00648 电路板与 BoosterPack 的尺寸相同。TI BoosterPack™ 接插模块有助于充分挖掘基于 LaunchPad 的项目的潜在性能。用户将这些创新工具插入 LaunchPad 的接头引脚，即可尽情探索 TI MCU 所能实现的各种不同应用。为了根据个人需要创建相应 BoosterPack，请使用 <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/byob.html> 提供的资源创建创建 BoosterPack 设计文件、在社区寻求支持并在完成几个简单步骤后将 PCB 设计概念转化为成品。

9.3.1 布局图

要下载每种电路板的布局图，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

9.4 Altium 项目

要下载每种电路板的 Altium 项目文件，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

9.5 光绘文件

要下载每块电路板的光绘文件，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

9.6 装配图

要下载每种电路板的装配图文件，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

10 软件文件

要下载本参考设计的软件文件，请参见 [TIDA-00648](#) 的设计文件。

11 参考文献

1. 德州仪器 (TI) DAC161S997 数据手册《DAC161S997 用于 4mA 至 20mA 回路的 16 位 SPI 高精度 DAC》(文献编号: [SNAS621](#))
2. 德州仪器 (TI) TPS7A16 数据手册《具有使能和电源正常指示功能的 60V、5 μ A I_Q、100mA 低压降稳压器》(文献编号: [SBVS171](#))
3. 德州仪器 (TI) MSP430F5x72 数据手册《MSP430F51x2 混合信号微控制器》(文献编号: [SLAS619](#))
4. 德州仪器 (TI) MSP430F5x72 用户指南《MSP430F51x2 混合信号微控制器》(文献编号: [SLAU208](#))
5. NAMUR 2003 年 2 月 (工作表)《NAMUR 推荐性规范 NE 43: 数字发送器故障信息信号电平的标准 化》

12 关于作者

THOMAS SCHNEIDER 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向工业领域的参考设计解决方案。

Thomas 在 TI 微控制器领域（尤其是 MSP430）拥有丰富经验。Thomas 拥有德国慕尼黑工业大学 (TUM) 电气工程硕士学位。

JÜRGEN SCHNEIDER 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向工业自动化领域的 TI 参考设计。他拥有德国工业电子学士学位。在 1999 年加入 TI 前，他担任半导体制造设备、遥感勘测系统和电子医疗设备领域的设计工程师长达 13 年。Jürgen 在 TI 曾先后担任模拟领域专家、FAE 以及电源解决方案的系统工程师。他经常出席各种技术会议和研讨会，多年来作为主讲人多次在业界知名的 TI 电源设计研讨会上亮相。

Jürgen 同时也是集团技术骨干成员之一。

针对 TI 参考设计的重要声明

德州仪器公司 ("TI") 参考设计只用于帮助设计人员 ("客户") 开发包含 TI 半导体产品的系统 (在这里也指"组件")。客户理解并同意他们对设计客户系统和产品中的独立分析、评估和判断负责。

TI 参考设计已经使用标准实验室条件和工程实践创建。TI 未采取任何测试, 除非那些在已发布文档中针对一个特定参考设计所专门描述的测试。TI 也许会对它的参考设计进行修正、提高、改进和其它改变。

客户被授权使用具有每个特定参考设计中确认的 TI 组件的 TI 参考设计, 并且在他们的终端产品开发中修改参考设计。然而, 在这里不授予任何其它 TI 知识产权的直接或隐含, 默许或其它方式的许可, 和任何第三方技术或知识产权的许可, 其中包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权、或者与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息不能构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。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。

TI 参考设计按"原样"提供。对于参考设计或者包括精度和完整性在内的直接、隐含或者法律规定的参考设计的使用, TI 不作出任何保证或声明。TI 不对任何隐含的适销性、针对特定用途的适用性、平静受益权、无干扰享有权, 以及与 TI 参考设计或其使用相关的任何第三方知识产权的非侵权作出任何保证。TI 不对任何与 TI 参考设计中提供的产品组合相关的或基于这些产品组合的第三方侵权声明负责, 并且不应为客户提供辩护或赔偿。不论是何原因造成任何实际的、特殊的、意外的、相应发生的或间接的损坏, 并且不论 TI 是否已经告知了 TI 参考设计的任何使用或 TI 参考设计的客户使用所造成的此类损坏的可能性, TI 都不应对此负责。

TI 保留根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行更正、增强、改进或其它更改的权限, 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产品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。

对于 TI 数据手册、数据表或参考设计中的 TI 信息, 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。第三方信息可能受到其它限制条件的制约。

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客户的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。借助于这样的组件, TI 的目标是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/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未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 要求的组件, 这些组件主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 将不承担任何责任。

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 © 2016 德州仪器半导体技术 (上海) 有限公司

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间接权限制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, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 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, 并且由客户独自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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated