

Tech Note

适用于现场变送器的高性能 16 位 PWM 转 4-20mA DAC



Tess Chen

Ahmed Noeman

具有 4-20mA 输出的环路供电式现场变送器是工艺自动化应用的通用器件。基于简易性、稳健性和成本优化的考虑，现场变送器需进行脉宽调制 (PWM) 至 4-20mA 转换。新的应用要求环路变送器具有更高的分辨率、更低的噪音和更低的功耗，这对 PWM 技术提出了挑战。

此技术文档展示了 PWM 转 4-20mA 环路的实现方法和测试结果。

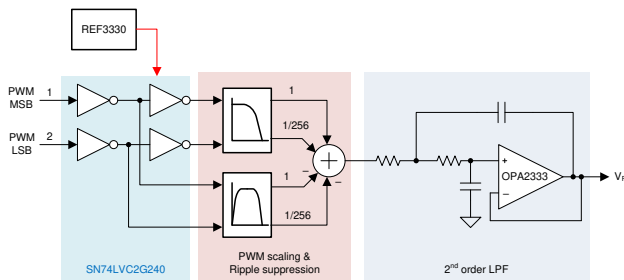


图 1. PWM 电压转换器

如图 1 所示，输入信号是来自任何微控制器（如 MSP430）的两路 PWM。纹波抑制电路可由逻辑缓冲器 SN74LVC2G240 生成的正向和经滤波的反向信号进行求和来放宽对后续滤波器的要求。两路 PWM 信号被用于表示 MSB（8 位）和 LSB（8 位），LSB PWM 的调节系数为 $1/2^8$ 。

具有简单低通滤波器的纹波抑制电路可用作二阶低通滤波器 (LPF)。另一个基于零漂移 OPA2333 器件的二阶有源 LPF 可确保产生的电压信号 (V_p) 纹波低于本底噪声。由于现场变送器的环境温度变化剧烈，电源变化可能是导致输出误差的一个重要因素。通过 REF3330 之类的稳定电压基准为反相器和运算放大器供电，可确保将增益误差保持在较低水平。REF33xx 系列器件的输出电流为 5mA，这足够满足我们的应用要求（所需的最大电流为 100 μ A）。

电流变送器（请参阅图 2）使用 OPA2333 双封装中的另一路运算放大器，将生成的电压 (V_p) 转换为环路电流。

环路电路支持通过电容耦合注入 HART 信号。

整个电路由环路电源（电压典型值为 24V）供电。LDO TPS7A16-Q1 将环路电源转换为较低的电平，同时前端有一个电流限制器以限制浪涌电流。

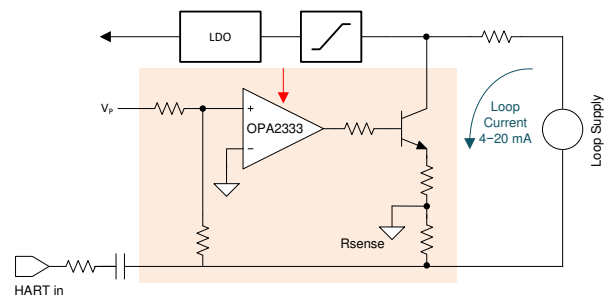


图 2. 电压转环路电流转换器

测试设置

图 3 显示了所述电路的电路板的测试设置。

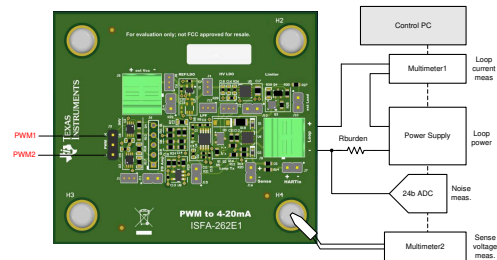


图 3. PWM 转 4-20mA 测试设置

测试结果

该设计可实现低增益误差和低失调误差、低电流消耗和低输出电流噪声。表 1 显示了测试结果的摘要。图 4 和图 5 分别显示了不同温度下的失调误差和增益误差。图 6 显示了不同输出电流电平在不同温度下的电流消耗。图 7 显示了不同电流电平下电流 RMS 噪声与温度间的关系。

表 1-1: 关键测试规格

参数	技术规格与特性
环路电源电压	9.66V 至 32V
环路电流范围	40 μ A 至 24.075mA
分辨率	16 位
电流消耗	< 100 μ A
温度范围	-40 $^{\circ}$ C 至 125 $^{\circ}$ C
带宽	600Hz
稳定时间	3ms, 4mA 至 20mA 阶跃
失调误差	电流为 4mA 时, 误差为 -6.66 μ A 至 5.02 μ A
失调误差温度系数	5.84 ppm FS/ $^{\circ}$ C
增益误差	电流为 20mA 时, 误差为 -0.18 至 0.08% FS
Hart 输入增益	1.1mA/V @ 1.2kHz, 1Vpp
	1.3mA/V @ 2.2kHz, 1Vpp
DNL 在温度范围内的变化	-4 至 4 LSB

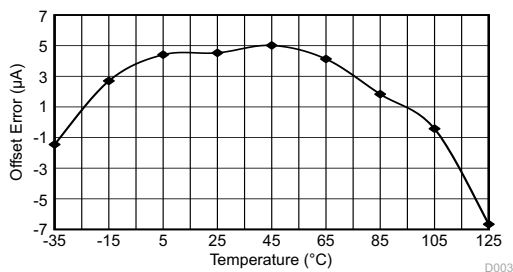


图 4. 不同温度下的失调误差

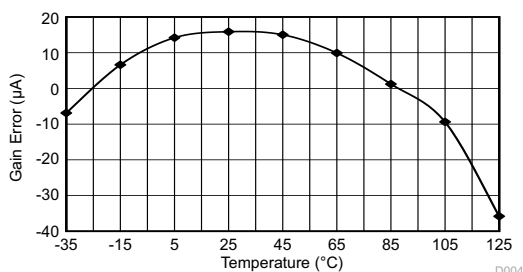


图 5. 不同温度下的增益误差

温度范围为 -35 $^{\circ}$ C 至 125 $^{\circ}$ C，阶跃为 20 $^{\circ}$ C。最大失调误差为 6.66 μ A，最大增益误差为 -35.8 μ A (125 $^{\circ}$ C 时)，该值低于 0.18% FS。

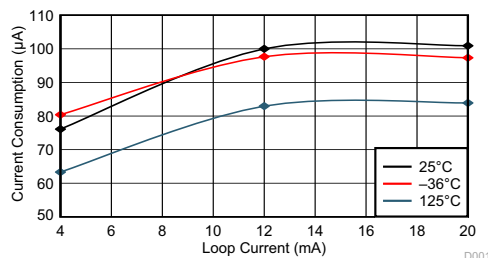


图 6. 不同温度下的电流消耗

最大电流消耗约为 100 μ A，这可为变送器电路提供更多电流。

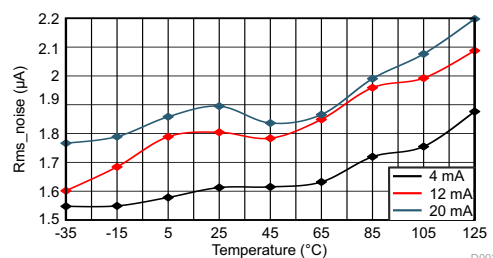


图 7. 不同温度下的 RMS 噪声 (6.5kHz BW)

在 6.5kHz 带宽范围内进行的噪声测量结果表明，温度的升高和环路电流的增大会使得噪声增加，在 20mA 和 125 $^{\circ}$ C 的最坏情况下，噪声为 2.2 μ A。

结论

使用 PWM 技术在传感器变送器中生成 4-20mA 信号，可实现高分辨率和高精度。这些技术包括利用电压基准供电的逻辑门电路来缓冲 PWM 信号、使用双路径技术以及使用有源纹波抑制等。所展示的实现具有快速稳定时间和极低功耗等特性。

表 1-2: 备选器件

放大器	失调电压	I_q	带宽
OPA2333	10 μ V	17 μ A	0.35MHz
TLV2333	15 μ V	17 μ A	0.35MHz

参考文献

- 德州仪器 (TI), [小外形尺寸、两线制、4-20mA 电流环路、RTD 温度变送器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [采用 HART 调制解调器的高精度环路供电式 4-20mA 现场变送器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [使用 MSP430 高分辨率计时器的 PWM DAC 应用报告](#)

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。您将独自承担以下全部责任: (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开发本资源所述的使用 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 (<http://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [TI.com.cn](http://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: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2020, 德州仪器 (TI) 公司

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