

利用 ADI 公司产品进行电路设计  
放心运用这些配套产品迅速完成设计。  
欲获得更多信息和技术支持，请拨打 4006-100-006 或  
访问 [www.analog.com/zh/circuits](http://www.analog.com/zh/circuits)。

连接/参考器件	
ADuC7060/ ADuC7061	基于 ARM7 的微控制器，内置双通道 24 位 $\Sigma$ - $\Delta$ 型 ADC、VDAC 和 PWM
ADP1720	2.5 V 输出线性调节器
OP193/OP293	低功耗运算放大器
ADR280	低功耗 1.2 V 基准电压源

## 利用精密模拟微控制器 ADuC7060/ADuC7061 构建 4 mA 至 20 mA 环路供电温度监控器

### 电路功能与优势

该电路提供一种简单的高度集成温度监控器解决方案，它可以与 4 mA 至 20 mA 主机控制器接口。由于绝大部分电路功能都集成在精密模拟微控制器 ADuC7060/ADuC7061 中，包括双通道 24 位  $\Sigma$ - $\Delta$  型 ADC、ARM7 处理器内核以及用于控制 4 mA 至 20 mA 反馈电路的 DAC/PWM 特性，因此本电路是一种成本非常低的温度监控解决方案。

ADuC7060/ADuC7061 内集成的 ADC 和其它模拟电路性能优于其它集成模拟电路的微控制器竞争产品。与使用分立 ADC 和单独微控制器的解决方案相比，本电路堪称性价比最高、功耗最低、电路板面积最小的解决方案。高度集成和低功耗特性，使 ADuC7060/ADuC7061 能够直接采用 4 mA 至 20 mA 应用中的环路电源供电。如果 ARM7 内核在 640 kHz 下工作，主 ADC 有效并测量外部 RTD 温度传感器，PWM 控制 4 mA 至 20 mA 反馈电路，则整个电路的功耗典型值为 3.15 mA。有关功耗的详细信息参见电路描述部分。

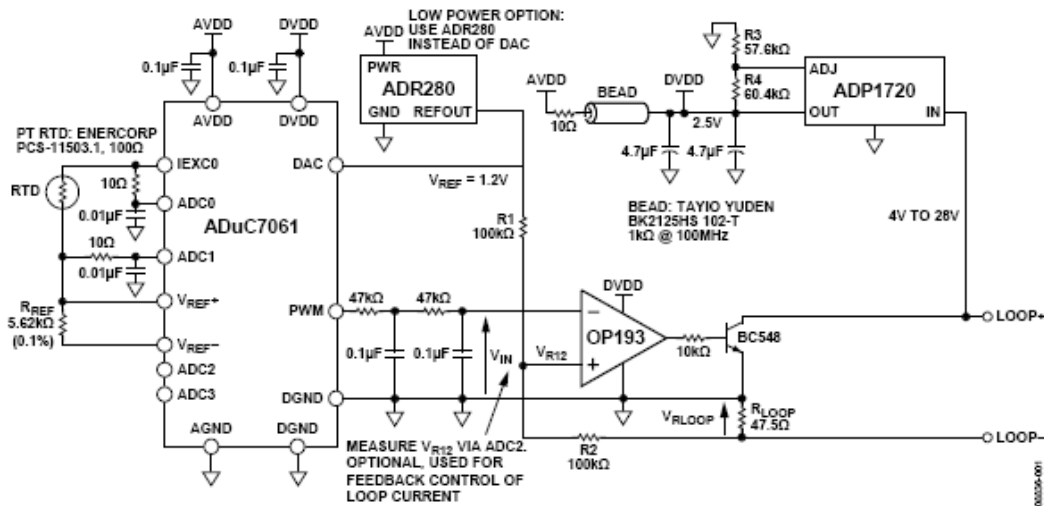


图1. ADuC7061 控制 4 mA 至 20 mA 环路温度监控电路（原理示意图，未显示去耦和所有连接）

Rev.0

“Circuits from the Lab” from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any “Circuit from the Lab”. (Continued on last page)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113 ©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

在温度测量的间隙，可以关断 ADC 和 RTD 激励电流源，以进一步降低功耗。

100 Ω Pt RTD 为 Enercorp #PCS11503.1。完整电路的精度高于 ±1°C。此 RTD 的温度范围为 -50°C 至 +130°C。它采用 1206 尺寸的 SMD 封装，温度系数为 0.385 Ω/°C。

ADuC7060/ADuC7061 内部主 ADC 的峰峰值无噪声码分辨率大于 18 位。基于 PWM 的 DAC 输出提供 12 位有效分辨率。整个电路的性能将在电路描述部分讨论。

ADuC7061 采用 5 mm × 5 mm 32-LFCSP 小型封装，因此整个电路可以放在极小的 PCB 上，从而进一步降低成本。

本电路的重点主要在 4 mA 至 20 mA 接口方面。有关 RTD 传感器与 ADC 接口和 RTD 测量结果线性化技术的详细信息，请参考应用笔记 [AN-0970](#) 和电路笔记 [CN-0075](#)。

### 电路描述

本电路由线性调节器 [ADP1720](#)（可调版本）供电，它将环路电源调节至 2.5 V，用于 ADuC7060/ADuC7061、运算放大器 [OP193](#) 和可选的基准电压源 [ADR280](#)。

4 mA-20 mA 反馈电路主要由 ADuC7060 的片内 16 位 PWM（脉冲宽度调制器）控制。PWM 的占空比通过软件配置，以控制 47.5 Ω  $R_{LOOP}$  电阻上的电压，进而设置环路电流。请注意， $R_{LOOP}$  上方连接到 ADuC7060 接地， $R_{LOOP}$  下方连接到环路接地。因此，ADuC7060/ADuC7061、ADP1720、ADR280 和 OP193 所引起的电流，以及滤波 PWM 输出所设置的电流，均流经  $R_{LOOP}$ 。

$V_{REF}$  由 1.2 V 精密基准电压源 ADR280 提供。或者，也可以配置 ADuC7060/ADuC7061 的片内 DAC 来提供 1.2 V 基准电压，但使能内部 DAC 会导致额外的功耗。

$R1$  与  $R2$  接点电压可以表示为：

$$V_{R12} = (V_{RLOOP} + V_{REF}) \times R2 / (R1 + R2) - V_{RLOOP}$$

After the loop settles:

$$V_{IN} = V_{R12}$$

Since  $R1 = R2$ :

$$V_{IN} = (V_{RLOOP} + V_{REF}) / 2 - V_{RLOOP} = V_{REF} / 2 - V_{RLOOP} / 2$$

$$V_{RLOOP} = V_{REF} - 2V_{IN}$$

当  $V_{IN} = 0$  时，将产生满量程电流，此时  $V_{RLOOP} = V_{REF}$ 。因此，满量程电流为  $V_{REF} / R_{LOOP}$ ，或者约为 24 mA。当  $V_{IN} = V_{REF} / 2$ ，无电流流动。

$V_{IN}$  时放大器 OP193 为高阻抗状态，不会构成 PWM 滤波输出的负载。放大器输出的变化幅度很小，仅约为 0.7 V。

量程极限（0 mA 至 4 mA 和 20 mA 至 24 mA）处的性能无关紧要；因此，运算放大器不需要在电源轨时具有良好的性能。

$R1$  和  $R2$  的绝对值无关紧要。不过应注意， $R1$  与  $R2$  的匹配度很重要。

还应注意利用 ADuC7060/ADuC7061 上 ADC0 的输入通道测量  $V_{R12}$  点电压的可能性。此 ADC 测量结果可以用作反馈，以便 PWM 控制软件调整 4 mA 至 20 mA 电流设置。

ADuC7060/ADuC7061 的主 ADC 测量 RTD 上的电压。RTD 由片内激励电流源 IEXC0 激励。建议将激励电流配置为 200 μA 以降低功耗，测量间隙应将其关闭。主 ADC 前端的内部 PGA 增益配置为 16 或 32。RTD 测量的基准源可以是内部基准源或外部 5.62 kΩ 参考电阻。选择外部电阻可以进一步降低功耗。有关 RTD 与 ADC 接口和 ADC 结果线性化技术的详细信息，请参考应用笔记 [AN-0970](#) 和电路笔记 [CN-0075](#)。

该电路的功耗要求取决于温度监控模块是直接采用 4 mA 至 20 mA 环路电源供电，还是采用 4 线式有源环路供电（温度监控模块采用独立电源）。本文假设温度监控模块采用环路电源供电，因此该模块的总功耗不应超过约 3.6 mA。

为支持低功耗运行，可以对内部 POWCON0 寄存器进行编程，以降低 ADuC7060/ADuC7061 内核的工作速度。其最高频率 10.28 MHz 可以按 2 的幂（2 至 128）进行分频。测试期间使用的时钟分频值为 16，此时内核速度为 640 kHz。主 ADC 使能时，增益为 32。PWM 也可使能。所有其它外设均禁用。

针对我们的电路和测试设置，表 1 详细列出了 IDD 的各项功耗，表 2 则列出了各种外设的功耗。

**Table 1. Typical I<sub>DD</sub> Values for Components of Temperature Monitor Circuit**

Component	I <sub>DD</sub> Value at 25°C	I <sub>DD</sub> Value at 85°C
ADuC7060/ADuC7061 ADC0 On, Gain = 32, FADC = 100 Hz CPU speed = 640 kHz (POWCON0 = 0x7C) PWM On, PWMCON1 = 0x100 External reference selected by ADC0. All other peripherals off. Note: Add excitation current value to this figure. Typical value is 200 µA.	2.45 mA	2.74 mA
ADR280, 1.2 V Reference	12 µA	15 µA
ADP1720, 2.5 V Output Linear Regulator	200 µA	300 µA
OP193, Low Power Op Amp	15 µA	25 µA
Remaining Circuitry	50 µA	50 µA
<b>Total Current Less Excitation Current</b>	<b>2.73 mA</b>	<b>3.13 mA</b>

图 2 的 DNL 图显示：在 4 mA 至 20 mA 关键范围内，DNL 典型值优于 0.6 LSB。这些测试在 PWM 输出端采用二阶滤波器，并使用两个 47 kΩ 电阻和两个 100 nF 电容，如图 1 所示。

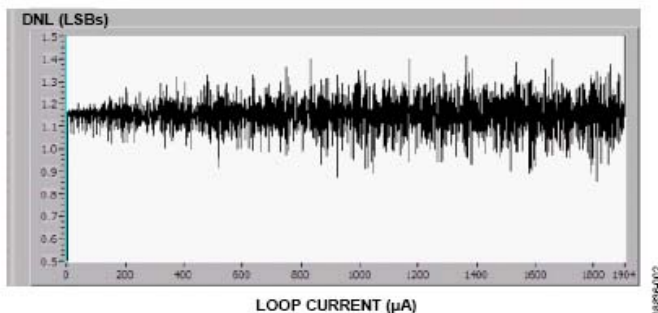


图 2. 电路的典型 DNL 性能

利用 ADC 测量点 V<sub>R12</sub> 和电路其它点的电压，可以增强 PWM 输出的性能。这种反馈方法可以用于校准 PWM 输出，以提供更高精度。

请注意，PWM 电路仅用来设置 0 V 至 600 mV 范围内的输出电压，因此代码数量得以减少。0 以上的码代表大于 24 mA 的值，因而无关紧要。

关于 ADC 测量性能，请参考 [AN-970](#)、[CN-0075](#) 和 [ADuC7060/ADuC7061](#) 数据手册。

**Table 2. Typical I<sub>DD</sub> Values for Different Peripherals on the ADuC7060/ADuC7061**

Peripheral of ADuC7060/61	I <sub>DD</sub> Value, Typical, 25°C
ARM7 Core @ 10.24 MHz	5.22 mA
5.12 MHz	4.04 mA
2.56 MHz	2.7 mA
1.28 MHz	2 mA
640 kHz	1.674 mA
320 kHz	1.5 mA
160 kHz	1.42 mA
80 kHz	1.38 mA
Primary ADC, G = 1	30 µA
G = 4	440 µA
G ≥ 128	630 µA
Auxiliary ADC	350 µA
DAC	330 µA
PWM	340 µA
SPI	40 µA
UART	200 µA

### 常见变化

片内 DAC 可以代替 PWM 来实现相同的功能，优势是响应速度更快且成本更低。此时不需要基准电压源 ADR280。

可以用 OP90 代替 OP193。

## 进一步阅读

ADIsimPower Design Tool, Analog Devices.

CN-0075 Circuit Note, *USB Based Temperature Monitor Using the ADuC7061 Precision Analog Microcontroller and an External RTD*, Analog Devices.

Kester, Walt. *Sensor Signal Conditioning*, Analog Devices, 1999, Chapter 7, *Temperature Sensors*.

Kester, Walt. *Sensor Signal Conditioning*, Analog Devices, 1999, Chapter 8, *ADCs for Signal Conditioning*.

Looney, Mike. AN-0970 Application Note, *RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC706x Microcontroller*, Analog Devices.

MT-022 Tutorial, *ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics*, Analog Devices.

MT-023 Tutorial, *ADC Architectures IV: Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications*, Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"*, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

## 数据手册和评估板

ADP1720 Data Sheet

ADR280 Data Sheet

ADuC7060 Data Sheet

ADuC7060 Evaluation Board and Software

ADuC7061 Data Sheet

ADuC7061 Evaluation Board and Software

OP193 Data Sheet

OP293 Data Sheet

OP90 Data Sheet

## 修订历史

2/10—Revision 0: Initial Version

(Continued from first page) "Circuits from the Lab" are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the "Circuits from the Lab" in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the "Circuits from the Lab". Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, "Circuits from the Lab" are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any "Circuits from the Lab" at any time without notice, but is under no obligation to do so. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.