

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

<a href="#">AD5560</a>	1.2 A 可编程器件电源
<a href="#">AD7685</a>	16 位、250 kSPS PulSAR® ADC
<a href="#">ADR435</a>	5 V 超低噪声 XFET® 基准电压源

## 适合自动测试设备的集成设备电源(DPS), 输出电压范围为 0 V 至 25 V

### 电路功能与优势

以前, DPS (设备电源) 解决方案采用分立放大器、开关、DAC、电阻等器件设计。随着硅工艺的革新和芯片日益缩小, 现在虽能够实现高集成度的解决方案, 但也几乎不可能将所有器件均集成到一块硅片上。尽管 AD5560 DPS 是一款高度集成的器件, 但若需要提供完整的系统解决方案, 仍需要精心选择几个外部器件。本电路笔记旨在详细说明为了提供更完整的设备电源解决方案, 需要哪些器件以及为什么选择这些器件。

该产品主要用于自动测试设备(ATE)中驱动待测设备(DUT)的电源。因此, 对这种 DPS 有许多不同的要求, 包括电压和电流规格(取决于它所驱动的待测设备类型), 以及稳定性、精度等其它因素。

作为设备电源, AD5560 必须能够及时提供待测设备所需的电压和电流。

受最大容许电压  $|AVDD - AVSS| \leq 33 \text{ V}$  限制, AD5560 可以在 -22 V 至 +25 V 范围内实现 25 V 的峰峰值电压跨度。

此外, AD5560 提供的电流范围可以高达  $\pm 1.2 \text{ A}$ 。请注意, 由于封装的功耗限制, 在较高输出电压时无法提供 1.2 A 电流。1.2 A 输出能力主要针对不大于 3.5 V 的低压轨供电时的情况。因此, 在审查电压和电流要求时, 需要考虑许多因素, 例如: 上裕量、下裕量、最差情况下的功耗、供电轨、热性能等。

本电路提供三个待测设备供电轨:

0 V 至 25 V / 5  $\mu\text{A}$  至 25 mA

0 V 至 7 V / 500 mA

0 V 至 3 V / 1.2 A

本电路所选的器件和配置将根据上述组合专门定制。

欲了解该产品的其它用途或更详细信息, 请参考 [AD5560 数据手册](#)。

### 电路描述

AD5560 DPS 可提供待测设备所需的电源电压和测量功能, 但为了构成完整电路, 仍需要若干其它器件: 一个基准电压源; 一个 ADC, 用来对测量结果进行数字化处理; 以及一个温度监控器, 用来测量内部检测二极管的温度, 以使用户查看芯片或 PC 板上的温度。

该 ADC 用来对测量输出进行数字化处理。根据基准电压和 OFFSET DAC 设置的不同, 测量输出 (MEASOUT 引脚) 可以提供不同的输出范围。

利用 OFFSET DAC, 可以使强制电压输出范围发生偏移, 以实现不同的输出范围。本文关注的特定输出范围是 0 V 至 25 V。因此, 默认 MEASOUT 输出范围 (MEASOUT GAIN = 1) 也将是 0 V 至 25 V。没有任何 ADC 能够直接处理这一输出范围, 因此需要进行某种外部信号调理, 使该范围与某一单极性或双极性 ADC 的输入范围相匹配。

MEASOUT 还有一种设置 (MEASOUT GAIN = 0.2), 可将 MEASOUT 输出范围调整偏移到 0 V 至 5.125 V。(其中略微超量程, 可用于校准等。)

### 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)

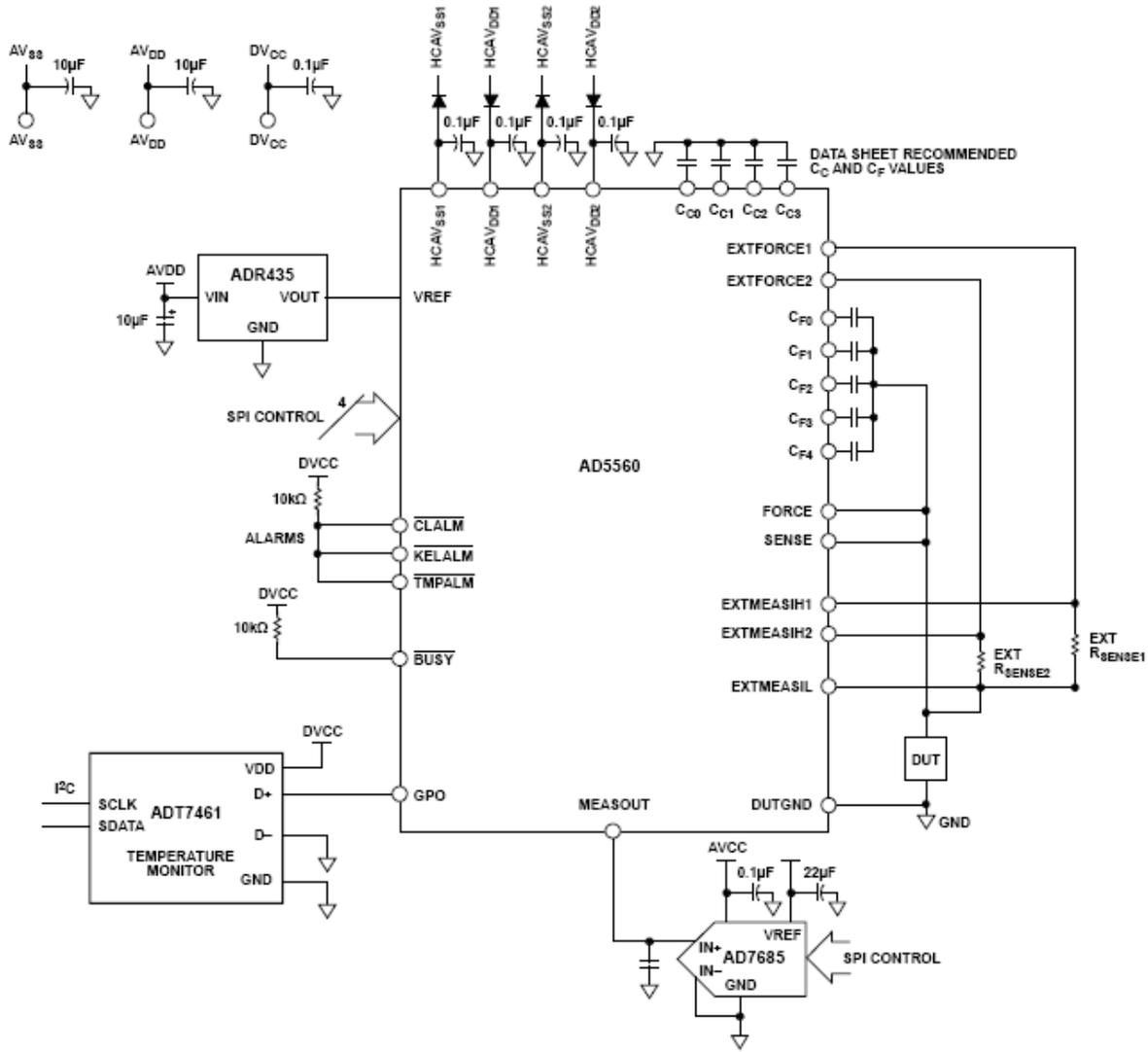


图1.适合自动测试设备的设备电源(DPS) (原理示意图, 未显示去耦和所有连接)

对于本例, 我们将使用 0 V 至 5.125 V 范围, 这样就能方便地使用单极性输入 ADC。

16 位、250 kSPS ADC AD7685 能够处理MEASOUT路径上的 0 V至 5 V输出范围, 所以适合本应用。此外, 如果希望升级电路, 那么速度更快、尺寸相同的其它ADC (例如 500 kSPS AD7686) 也是颇具吸引力的选择。

**ADC 考虑因素**

每个 DPS 通道可以有一个专用 ADC, 从而提供最快的吞吐速率; 或者也可以多个通道共用一个 ADC。许多典型应用中, 8 个或 16 个通道共用一个 ADC。

利用各 MEASOUT 引脚的内部禁用功能, 可以实现多个通道共用一个 ADC。这就要求对 DPS 寄存器执行写入命令, 以使能/禁用相应的开关。如果选择这种方法, 则应注意, 一次只能选择一个 MEASOUT。

或者, 可利用外部 4:1 或 8:1 多路复用器来控制测量通道选择。以这种方式, 可以使能所有MEASOUT路径, 由多路复用器选择测量通道。类似地, 采用 16:1 多路复用器时, 可实现更多测量路径共享一个ADC。多路复用器的选择将取决于所用的ADC及其输入电压范围。(对于双极性输入ADC, ADG1404/ADG1204 将是理想之选; 若采用单电源, 则 ADG706或ADG708更合适。) MEASOUT路径的输出阻抗通

常为 60 Ω；除开关阻抗外，还应考虑使用一个ADC缓冲器来驱动ADC（例如，运算放大器ADA4898-1是合适的选择）。

**基准电压源**

由于需要 25 V 输出电压范围，因此选择 5 V X-FET 基准电压源 ADR435。该基准电压源具有出色的温度漂移性能和低噪声特性，能够驱动多个 PMU 通道。

**温度监控器**

AD5560 具有 16 个温度监控二极管组成的阵列，分别位于芯片上的不同点。必须用电流驱动这些二极管来产生电压，从而指示芯片相应区域的温度。借助芯片上如此多的温度二极管，用户就能测量芯片或电路板在特定情况下的温度梯度。为此，选择 ON Semiconductor 的温度监控器 ADT7461A，以便与片内温度二极管接口。由于本例中每个二极管均通过多路复用器与 AD5560 的 GPO 引脚相连，因此 ADT7461A 的串联电阻消除功能很重要。如果没有串联电阻消除功能，多路复用器的导通电阻将会产生测量误差。请注意，ADT7461A 配有一个双线式接口。

**补偿和前馈电容**

作为设备电源，根据待测设备旁路和去耦要求的不同，AD5560 可能会面对各种容性负载。本电路设计可处理 0 μF 至 160 μF 的容性负载。为了使内部补偿算法实现最佳稳定性，并建立至此负载范围内，需用表 1 所示的外部电容。

**Table 1. Suggested Compensation Capacitor Selection for DUT Capacitance of 0 μF to 160 μF**

Capacitor	Value
C <sub>CO</sub>	100 pF
C <sub>C1</sub>	100 pF
C <sub>C2</sub>	330 pF
C <sub>C3</sub>	3.3 nF
C <sub>F0</sub>	4.7 nF
C <sub>F1</sub>	22 nF
C <sub>F2</sub>	100 nF
C <sub>F3</sub>	470 nF
C <sub>F4</sub>	2.2 μF

虽然有 4 个补偿输入引脚(C<sub>CX</sub>)和 5 个前馈电容输入引脚(C<sub>FX</sub>)，但只有待测设备负载电容有较大变化时，用户才需要使用所有的电容输入。如果待测设备负载电容值已知，并且不会因电压范围与测试条件的组合不同而变化，则可以仅用一组C<sub>CX</sub>和C<sub>FX</sub>电容。有关补偿算法的详细信息，请参考AD5560数据手册。

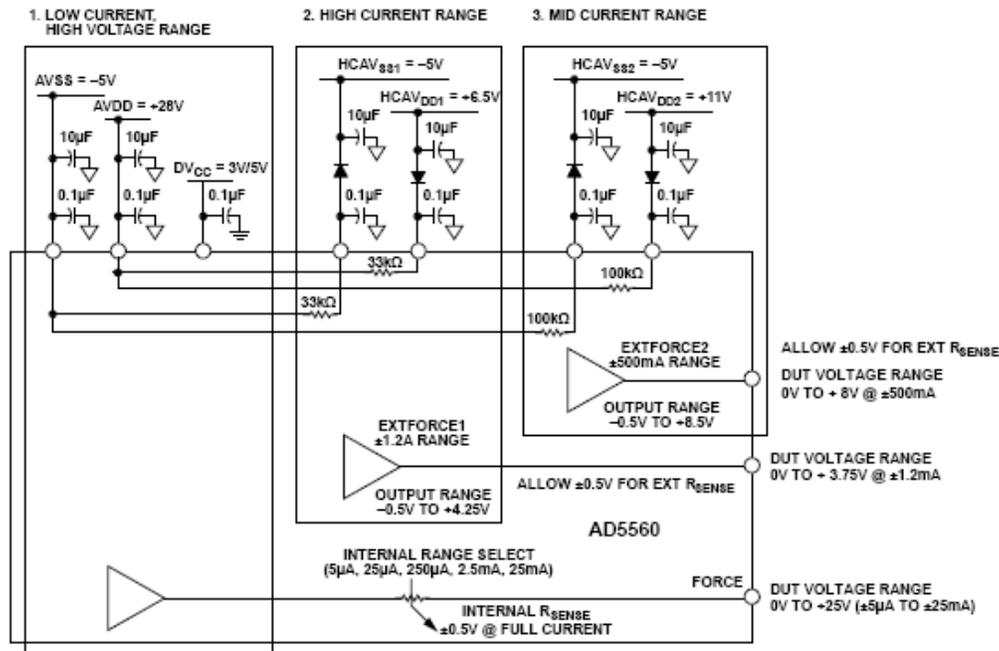


图2. 在AD5560内使用额外供电轨以实现多种电压/电流范围并使功耗最小的一个示例（原理示意图，未显示去耦和所有连接）

$C_{CX}$ 和 $C_{FX}$ 引脚的电压范围与FORCE上的预期电压范围相同；因此，选择电容时应考虑这一情况。 $C_{FX}$ 电容可以具有 10% 的容差，特别是在低电流范围内测量电流时，这一额外变量会直接影响建立时间。 $C_{CX}$ 的容差不应大于 5%。

### 输出电压范围

本设计电路的输出电压范围如下：

0 V 至 25 V / 5  $\mu$ A 至 25 mA

0 V 至 7 V / 500 mA

0 V 至 3 V / 1.2 A

为配置这些供电轨组合，我们需要调整OFFSET DAC的设置。建议值为 0xD1D，它可以实现上述范围。图 2所示的例子说明如何分配AD5560 来实现这些输出范围。

### 高电流 (HC) 电源路径二极管

由于AD5560 可以输出高电流，提供最高 1.2 A的电流范围，因此可将这些供电轨分为三种不同类型：低电流范围（5  $\mu$ A 至 25 mA）采用AVDD/AVSS供电；中间电流范围（称为EXT2）采用HCAVDD2/HCAVSS2 供电；高电流范围（称为EXT1）采用HCAVDD1/HCAVSS1 供电。HC电源应始终等于或小于AVDD/AVSS供电轨。HC供电轨的作用是让用户选择电压较低的电源，以降低AD5560 的功耗。EXT1 和EXT2 输出级设计要求供电电压高于待测设备电压。如果HC电源低于AVDD/AVSS电源，则可能会存在不符合上述要求的情况。因此，我们建议在HC电源与HC封装引脚之间的路径中添加一个二极管（如图 2所示）。当EXT1 级或EXT2 级关断时，我们希望它保持关断，并且不会泄漏电流至待测设备。这样，该二极管与内部泄漏电阻一起，将可以提高HC封装引脚电压（接近AVDD/AVSS电源轨），从而使EXT1/EXT2 输出级保持关断状态。图 3和图 4分别显示适合EXT1 和EXT2 范围的二极管电路详情。

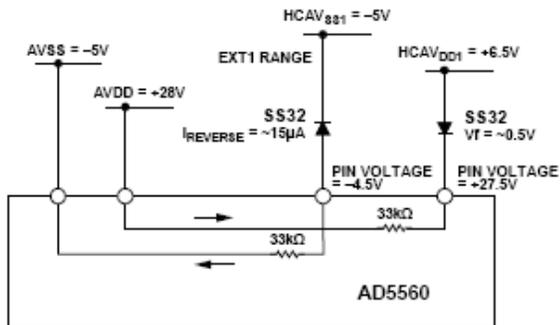


图 3.用于EXT1 范围的二极管示例

该二极管需能够承载输出级所能提供的最高电流（包括瞬时电流/故障条件）。EXT1 级的电流要求可能远高于EXT2 级，因此在选择二极管时，最好分别为EXT1 和EXT2 选择不同的二极管（就电路板大小而言）。

为使总功耗和电源开销最小，压降应尽可能低。

二极管关断时的泄漏电流或反向电流应足够低，以确保 HC 引脚电压能够支持待测设备输出电压范围。二极管的反向电流会在内部泄漏电阻（EXT1 为 33 k $\Omega$ ，EXT2 为 100 k $\Omega$ ）上产生压降；因此，HC 引脚电压会降低。

许多供应商均可提供合适的二极管，如 ON Semiconductor、Vishay 等。

可以用低导通电阻功率MOSFET代替二极管，如图 5所示。由于FET上的压降远低于二极管，因而采用MOSFET的优势是可以降低总功耗。

请注意，分立功率 MOS 器件的漏极与源极之间存在一个寄生体二极管。此二极管的方向必须与 MOS 器件所代替的常用二极管的方向相同。同时必须为 MOS 栅极提供合适的驱动器。

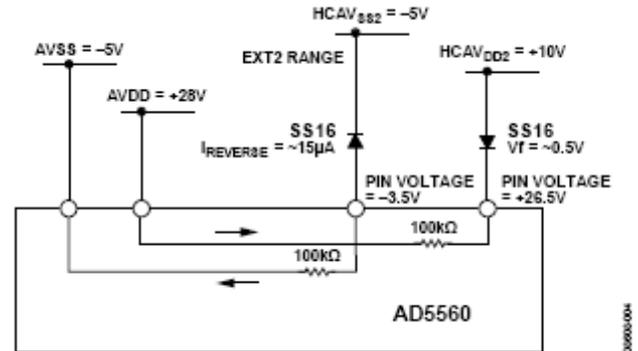


图 4.用于EXT2 范围的二极管示例

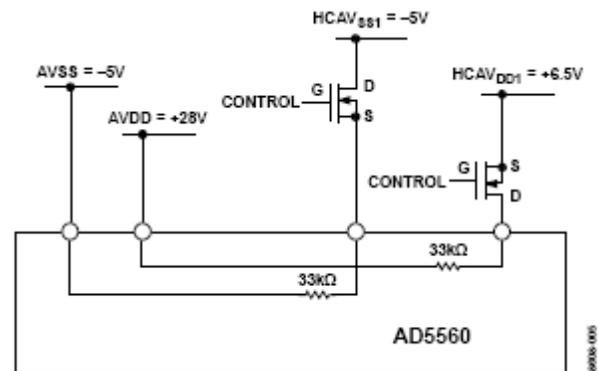


图 5.用 MOSFET 代替二极管示例

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术（请参考教程MT-031—“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的迷团”，以及教程MT-101—“去耦技术”）。请注意，图1为原理示意图，并未显示所有必需的去耦。精心考虑电源和接地回路布局有助于确保达到额定性能。安装AD5560所用的印刷电路板(PCB)应采用模拟部分与数字部分分离设计，并限制在电路板的一定区域内。如果AD5560所在系统中有多个器件要求AGND至DGND连接，则只能在一个点上连接。星形接地点尽可能靠近该器件。

**线性度测量**

图6和图7显示FVMV（强制电压、测量电压）模式下系统的线性度测量结果。图6显示偏斜电源（+28 V、-5 V）的线性度。对于这一特定增益设置(MEASOUT GAIN = 0.2)，偏斜电源条件下线性度性能会降低。图7显示对称电源(±15 V)的线性度获得改善。两项测量均采用AD7685 ADC和图1所示电路进行。对于对称电源，FVMI（强制电压、测量电流）模式下的线性度测量结果如图8所示。

**温度测量**

用ADT7461A测得的温度梯度示例如图9所示。此处使用的散热器只是一个简易散热器，不存在气流。目的是帮助我们了解在1 A负载条件下，使用片内温度二极管的芯片温度梯度情况；功耗大约为5.4 W。二极管用编号表示（按照数据手册）；本例在不同时间点循环测量一些二极管。即使采用这一简易散热器，也可以看到芯片上存在17°C的温差。

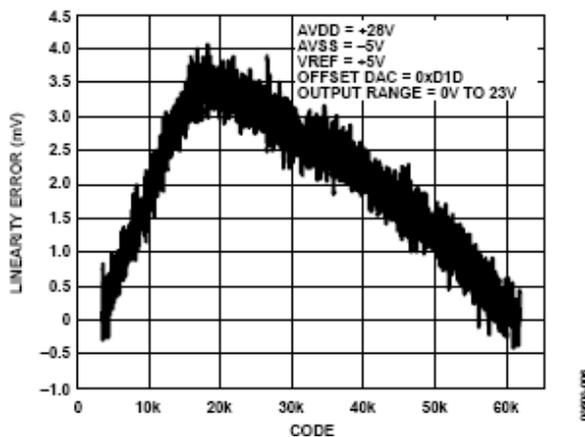


图6. 使用AD7685 测量折合到待测设备的FVMV（强制电压、测量电压）线性度误差时的典型线性度性能；+28 V、-5 V偏斜电源；注意：其中包括FV误差。

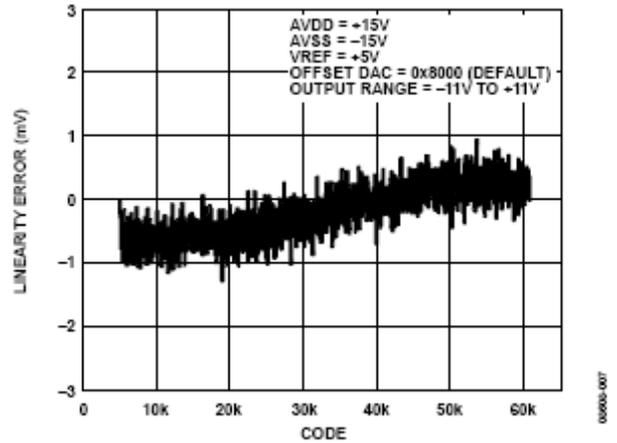


图7. 使用AD7685 测量折合到待测设备的FVMV线性度误差时的典型线性度性能；±15 V对称电源；注意：其中包括FV误差

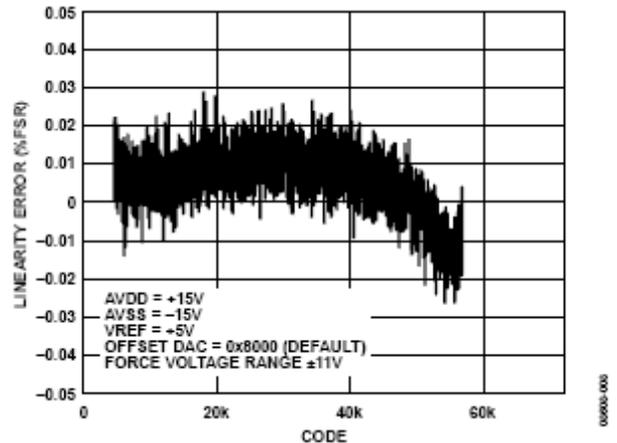


图8. 使用AD7685 测量FVMI（强制电压、测量电流）线性度误差时的典型线性度性能；±15 V对称电源。

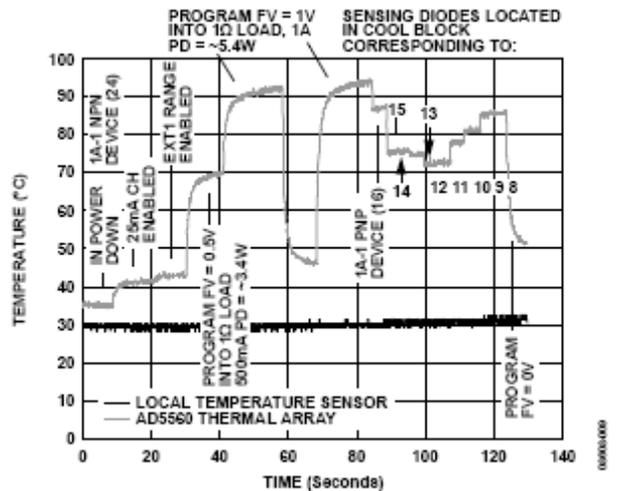


图9. ADT7461A用作温度监控器示例（X轴为时间，单位为秒）。

## 常见变化

根据所驱动的待测设备类型，DPS电路并非一定需要使用全部 25 V范围。例如，用户利用基准电压源ADR421 (2.5 V)，可以实现较低的输出电压范围（标称范围为 $\pm 6.4$  V）。可以用片内OFFSET DAC对此范围进行调整，以便符合待测设备的要求（详情请参考ADR421 数据手册）。如果所需电压范围比这还小，只需使用增益设置“m”寄存器进一步缩小该范围。对于“m”寄存器，可以使用 $\frac{1}{4}$ 的调整系数，同时仍然保持 16 位分辨率。对于这些低压应用，AD5560 能够处理低得多的差分电源电压，使得 $|AVDD - AVSS| \geq 16$  V，因而AVDD/AVSS无需成为高压供电轨，这有助于降低AD5560 的功耗。欲了解更多信息，请参考AD5560 数据手册。

按 ADC 通道划分 DPS 测量通道有多种方式，多个 PMU 通道也可以共用一个 ADC 通道（有时以 8:1 或 16:1 的比率）。可以使用片内 MEASOUT 禁用特性。另外，也可以使用模拟多路复用器来实现此功能。这样会增加测量路径的串联电阻；因此，应当考虑缓冲 ADC 输入端之前的测量路径。许多 ADC 数据手册均含有适用 ADC 驱动器的建议。

16 位、250 kSPS ADC AD7685 能够处理MEASOUT路径上的 0 V至 5 V输出范围，所以适合本应用。此外，如果希望升级路径，那么速度更快、尺寸相同的其它ADC（例如 500 kSPS AD7686）也是颇具吸引力的选择。

也可以选择其它ADC，例如具有双极性范围或更快采样速率的ADC。如果使用外部多路复用器，则对于双极性输入ADC，ADG1404/ADG1204是理想之选；若采用单电源，则ADG706 或ADG708将更合适。

MEASOUT路径的输出阻抗通常为 60  $\Omega$ ；除开关阻抗外，还应考虑使用一个ADC缓冲器来驱动ADC（例如，运算放大器 ADA4898-1是合适的选择）。

## 进一步阅读

[Automatic Test Equipment \(www.analog.com/ATE\)](http://www.analog.com/ATE)

[MT-031 Tutorial, \*Grounding Data Converters and Solving the Mystery of AGND and DGND\*. Analog Devices.](#)

[MT-101 Tutorial, \*Decoupling Techniques\*. Analog Devices.](#)

[Voltage Reference Wizard Design Tool.](#)

## 数据手册和评估板

[AD5560 Data Sheet](#)

[AD5560 Evaluation Board](#)

[AD7685 Data Sheet](#)

[AD7685 Evaluation Board](#)

[ADR435 Data Sheet](#)

## 修订历史

**10/09—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.