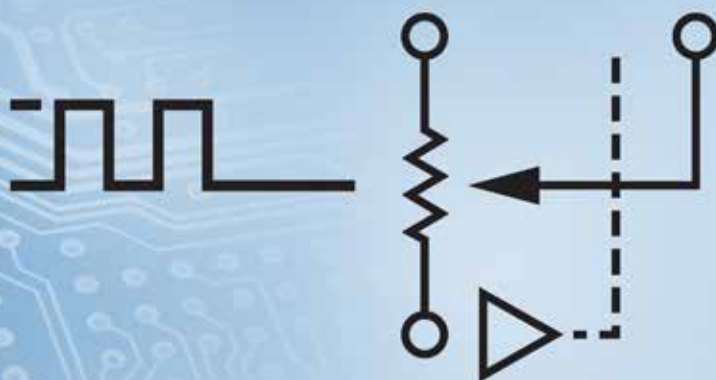


# 为您的应用选择合适的数字电位计



ADI公司提供多种多样的数字电位计(digiPOT)选项，包括不同的存储器技术、单电源和双电源、各种数字接口、高分辨率器件，以及业界最广泛的端到端电阻选项。

## 什么是数字电位计？

数字电位计T是一种数字控制式器件，可以用来调整电压或电流，提供与机械电位计或可变电阻器相同的模拟功能。利用它可以实现更精确、更鲁棒、更快速、电压毛刺更小的自动校准过程。digiPOT常用于对模拟信号进行数字调整和校准，通常由I<sup>2</sup>C、SPI等数字协议或者更基本的上调/下调和按钮协议来控制。

## 架构

数字电位计T是一种3端器件(见图1)，内部结构由电阻和开关阵列组成。每个digiPOT的A端与B端之间都有多个串联的无源电阻。游标端W可以进行数字编程，以访问该电阻串上的任何一个触点(共有 $2^n$ 个)。

A端与B端之间的电阻 $R_{AB}$ 一般称为端到端电阻。ADI公司提供从1 k $\Omega$ 到1 M $\Omega$ 的各种端到端电阻选项。

A端与W端之间的电阻 $R_{AW}$ 和B端与W端之间的电阻 $R_{WB}$ 是互补的。也就是说，如果 $R_{AW}$ 增大，则 $R_{WB}$ 会以相同比例减小。

施加于A、B或W端的电压极性不限。A端至B端、W端至A端和W端至B端的电压可以是任一极性，唯一要求是确保信号不会超过电源轨。同样，电流流向也无限制，唯一要求是最大电流不能超过电流密度规格(典型值约为数mA)。

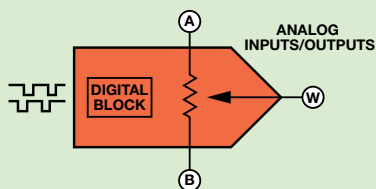


图1. 3端数字电位计

## 使用何种数字电位计?

为您的应用选择合适的数字电位计时,需要考虑的关键参数如下:

- |            |          |
|------------|----------|
| I. 电阻配置    | V. 端到端电阻 |
| II. 数字接口   | VI. 分辨率  |
| III. 内部存储器 | VII. 性能  |
| IV. 电源电压   | VIII. 封装 |

### I. 电阻配置

数字电位计可以配置为电位计或可变电阻器。

#### 电位计模式

在这种配置中,有三端可用:A、B和W(见图2)。

数字电位计用作分压器,游标端电压与A端和B端之间的电压以及电阻 $R_{AW}$ 和 $R_{WB}$ 成比例。

图3中,A端连接一个基准电压,B端接地。游标引脚电压可以通过下式计算:

$$V_{OUT} = \frac{CODE}{2^n} \times V_{REF}$$

#### 典型应用

- DAC
- LCD  $V_{COM}$ 调整
- 模拟信号衰减



#### 可变电阻器模式

数字电位计可以用作数字控制可变电阻器,此时仅使用两端。不用的一端可以悬空或者连接到W端,如图4所示。

数字电位计的标称端到端电阻( $R_{AB}$ )有 $2^n$ 个触点可供游标端访问,由此产生的电阻可以在游标端和B端上测量( $R_{WB}$ ),或者在游标端和A端上测量( $R_{AW}$ )。

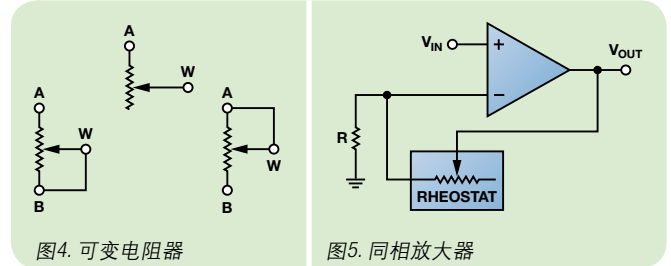
最小游标电阻位于游标与B端的第一个连接,对应零点。此B端连接具有最小的游标触点电阻 $R_W$ ,典型值为70  $\Omega$ 。

可变电阻器电阻可以通过下式计算:

$$R_{AW} = \frac{2^n - CODE}{2^n} \times R_{AB} + R_W \text{ or } R_{WB} = \frac{CODE}{2^n} \times R_{AB} + R_W$$

#### 典型应用

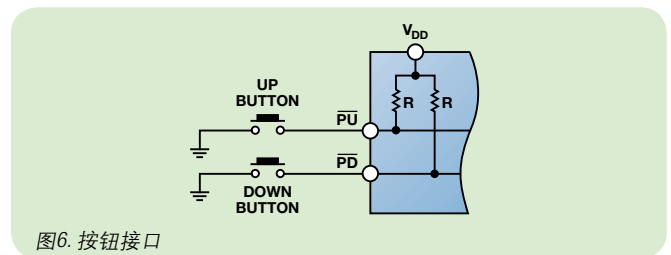
- 惠斯登电桥校准
- 运算放大器增益控制(见图5)
- 模拟滤波器调谐



### II. 数字接口

ADI公司的大量数字电位计产品支持多种数字接口:

- **SPI**—ADI公司提供SPI兼容型接口,其工作速度最高可达50 MHz 时钟速率。
- **I<sup>2</sup>C**—ADI公司提供I<sup>2</sup>C兼容型接口,支持标准模式和快速模式,最高速度可达400 kHz时钟速率。通常会提供地址引脚,允许用户配置从机地址,以便多个器件可以在同一总线上工作。
- **按钮操作**—用户只需添加两个按钮开关,就可以与系统直接交互。按UP(上调)按钮可增大电阻,按DOWN(下调)按钮可减小电阻(见图6)。
- **上调/下调**—这是一种相当简单的接口,可以通过任何主机控制器或分立逻辑进行操作,或者利用旋转编码器或按钮手动操作。只需利用一个边沿,就能增大或减小电阻。



### III. 内部存储器

AD公司丰富的产品组合支持四种不同的集成存储器选项,用户可以针对终端应用灵活地选择理想的数字电位计。利用内部存储器,用户可以将游标的上电复位(POR)位置设为用户编程值。游标位置可以多次重新编程,但只要上电,就会回到预编程的位置。对于校准或要求快速上电时间的应用,此功能十分有用。

- **仅易失性存储器**: 数字电位计通常上电至中间值。
- **一次性可编程(OTP)**: 允许用户对游标上电位置进行一次编程,非常适合出厂校准。
- **多次可编程(MTP)**: 有些ADI产品支持2次、20次或50次可编程游标存储器。
- **EEPROM**: ADI公司的集成EEPROM耐久性高达100k设置周期,+125°C时的数据保持期限长达50年。

## IV. 电源电压

为应用选择数字电位计之前，必须了解施加于A端、B端或W端的最大信号电压。正电源电压 $V_{DD}$ 和负电源电压 $V_{SS}$ (对于单极性digiPOT则是GND)定义电压信号的边界条件。超出 $V_{DD}$ 或 $V_{SS}$ 的信号一般会被内部正偏二极管箝位。

ADI公司的大量产品支持多种电源选项：

- 单电源：+2.3 V至+33 V(见图7)
- 双电源： $\pm 2.25$  V至 $\pm 16.5$  V(见图8)

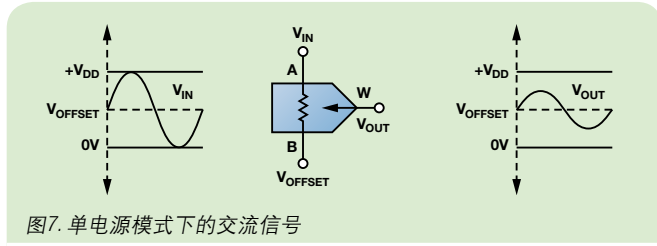


图7. 单电源模式下的交流信号

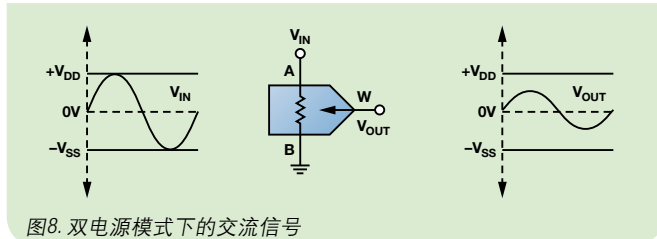


图8. 双电源模式下的交流信号

## V. 端到端电阻

ADI公司提供从1 k $\Omega$ 到1 M $\Omega$ 的各种端到端电阻选项，这有助于轻松实现阻抗、功耗、带宽与噪声性能的最佳组合。

## VI. 分辨率

ADI公司提供5位至10位的分辨率，LSB步长最低为4  $\Omega$ 。如果需要更高的分辨率，可以通过级联、串联或并联多个digiPOT来实现(见表1)。

表1. 电阻选项快速参考

	电阻 ( $\Omega$ )											
	1k	2.5k	5k	10k	20k	25k	50k	80k	100k	200k	250k	1M
分辨率(触点数)												
32				•			•	•	•			
64	•		•	•					•	•		
128				•				•	•			
256	•	•	•	•	•		•		•	•		•
1024				•	•	•	•		•		•	

## VII. 主要性能参数

**电阻容差误差**—digiPOT电阻容差误差是端到端电阻的绝对误差，其典型值为 $\pm 20\%$ 。在开环应用中与外部分立电阻、传感器等匹配时，该参数非常关键。

### 降低电阻容差误差的影响

- ADI公司的AD5272和AD5292等digiPOT提供业界领先的最大 $\pm 1\%$ 可变电阻性能。这些器件允许设计人员通过数字方式精确设置电阻值，从而简化确定系统误差预算的过程(见图9)。
- 低电阻容差(如AD5110)具有 $\pm 1\%$ (典型值)和 $\pm 8\%$ (最大值)的电阻容差。
- AD5259和AD5235等产品的电阻容差误差存储在EEPROM存储器中，用户计算的实际端到端电阻精度可达0.01%。
- 最新专利的线性增益设置模式允许控制电位计，使其作为连接同一点(端点W)的两个独立可变电阻器( $R_{AW}$ 和 $R_{WB}$ )使用，如图10所示。此模式适合输出取决于两个电阻之比的公式使用(例如反相放大器 $G = R_1/R_2$ )。AD5141等产品提供该模式，具有低于 $\pm 1\%$ 的最大比例误差。

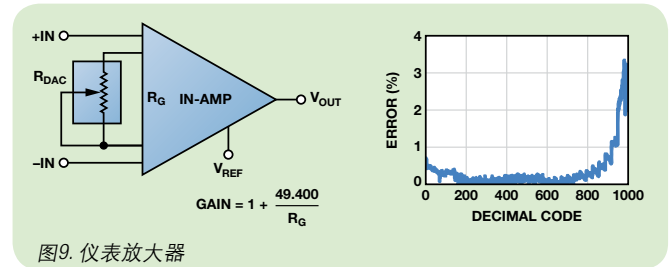


图9. 仪表放大器

**数字电位计温度系数**—ADI公司的digiPOT利用专有薄膜电阻技术，实现了市场上最低的温度系数性能(例如AD5292)：

- 电位计模式：5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$
- 可变电阻器模式：35 ppm/ $^{\circ}\text{C}$

**带宽**—digiPOT结构由电阻和开关组成(见图10)。特定代码路径中的电阻与开关寄生电容、引脚电容、板电容结合，形成一个RC低通滤波器，它决定能够通过digiPOT而不被衰减-3 dB以上的最大交流频率。选择较低的端到端电阻将能支持较高的-3 dB带宽(见表2)。

表2. 典型-3 dB带宽与电阻选项的关系

电阻	1 k $\Omega$	5 k $\Omega$	10 k $\Omega$	50 k $\Omega$	100 k $\Omega$	1 M $\Omega$
频率	5 MHz	2 MHz	1 MHz	120 kHz	70 kHz	6 kHz

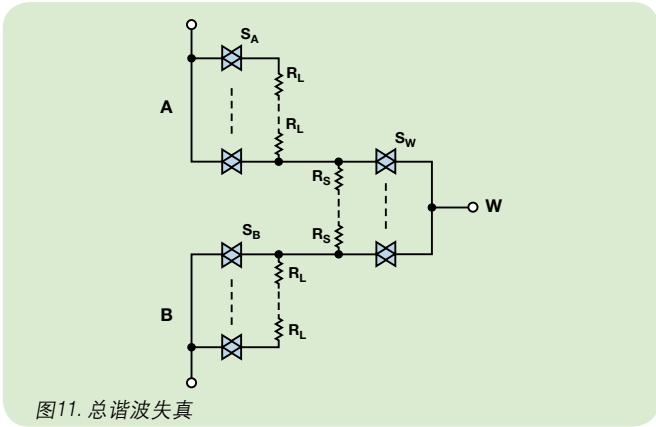


图11. 总谐波失真

**总谐波失真(THD)**—施加于digiPOT端子的交流信号会使内部开关的导通电阻 $R_{on}$ 发生变化，导致某种非对称衰减，从而引起信号失真(见图11)。选择较高的端到端电阻可以降低内部开关电阻对总电阻的贡献，从而提高THD性能。表3显示了一些典型的THD性能值。

表3. 典型THD性能

电阻	20 k $\Omega$	50 k $\Omega$	100 k $\Omega$
总谐波失真(THD)	-93 dB	-101 dB	-106 dB

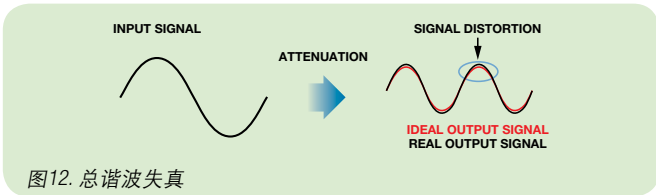


图12. 总谐波失真

## VIII. 封装

ADI的digiPOT都提供多种封装：

- SC70
- LFCSP
- SOT-23
- MSOP
- TSSOP
- SOIC

## 应用

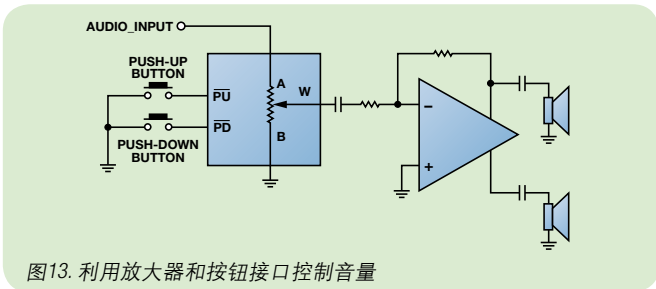


图13. 利用放大器和按钮接口控制音量

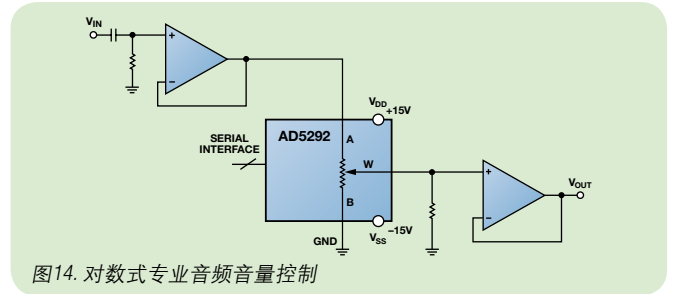


图14. 对数式专业音频音量控制

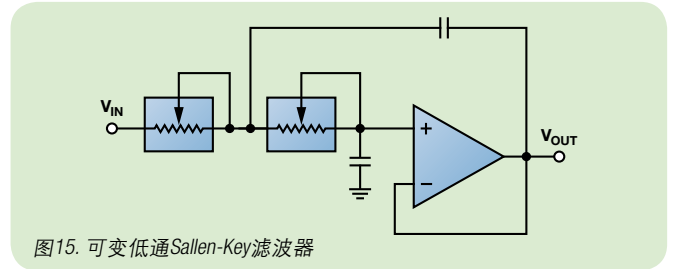


图15. 可变低通Sallen-Key滤波器

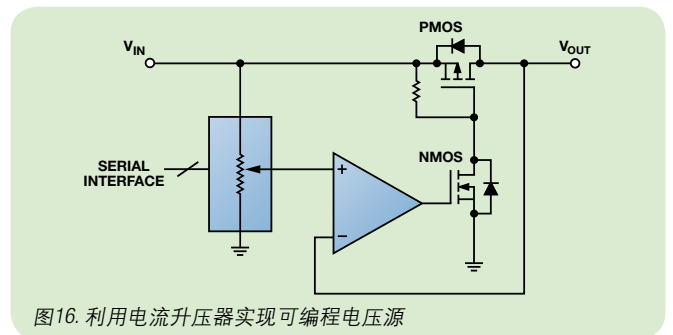


图16. 利用电流升压器实现可编程电压源

## Circuits from the Lab®

Reference Circuits

参考电路设计是经过测试的电路设计，旨在协助设计人员应对当今的相关设计挑战，轻松快捷地实现系统集成。

欲搜索digiPOT电路设计，请访问：[www.analog.com/zh/circuits](http://www.analog.com/zh/circuits)

## 非易失性存储器数字电位计

产品型号	分辨率 (游标步进数)	通道数	最大端电压范围(V)	接口	标称电阻(kΩ)	绝对温度系数 (ppm/°C)	封装引脚	报价 (千片订量, 美元/片)	注释
<b>一次性可编程存储器(OTP)</b>									
AD5273	64	1	5.5	FC	1, 10, 50, 100	300	SOT-23-8	0.69	1 kΩ选项具有高带宽
AD5171	64	1	5.5	FC	5, 10, 50, 100	35	SOT-23-8	0.72	温度系数在电位器模式下为5 ppm/°C
AD5172	256	2	5.5	FC	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.32	温度系数在电位器模式下为15 ppm/°C
AD5173	256	2	5.5	FC	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.32	额外的地址引脚(AD0和AD1)
<b>多次可编程存储器(MTP)</b>									
AD5271	256		±2.75, +5.5	SPI	20, 100	35	LFOSP-10, MSOP-10	0.95	1%端到端电阻容差(R-tol), 50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
AD5291	256		±16.5, +33	SPI	20, 50, 100	35	TSSOP-14	2.29	高电压, 1%端到端电阻容差(R-tol), 20-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源, 低THD
AD5170	256		5.5	FC	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.00	2-TP <sup>1</sup>
AD5274	256		±2.75, +5.5	FC	20, 100	35	LFOSP-10, MSOP-10	0.95	1%端到端电阻容差(R-tol), 50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
AD5270	1024	1	±2.75, +5.5	SPI	20, 50, 100	35	LFOSP-10, MSOP-10	1.59	1%端到端电阻容差(R-tol), 50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
AD5174	1024		±2.75, +5.5	SPI	10	35	LFOSP-10, MSOP-10	1.45	50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
AD5292	1024		±16.5, +33	SPI	20, 50, 100	35	TSSOP-14	2.62	高电压, 1%端到端电阻容差(R-tol), 20-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源, 低THD
AD5272	1024		±2.75, +5.5	FC	20, 50, 100	35	LFOSP-10, MSOP-10	1.59	1%端到端电阻容差(R-tol), 50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
AD5175	1024		±2.75, +5.5	FC	10	35	LFOSP-10, MSOP-10	1.45	50-TP <sup>1</sup> , 内部熔断编程电源
<b>EEPROM</b>									
AD5114 新品	32		5.5	FC	10, 80	35	LFOSP-8	0.60	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5115 新品	32		5.5	升降	10, 80	35	LFOSP-8	0.60	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5112 新品	64		5.5	FC	5, 10, 80	35	LFOSP-8	0.68	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5113 新品	64		5.5	升降	5, 10, 80	35	LFOSP-8	0.68	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5116 新品	64		5.5	按钮	5, 10, 80	35	LFOSP-8	0.66	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5258	64		5.5	FC	1, 10, 50, 100	300	MSOP-10	0.59	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中
AD5110 新品	128	1	5.5	FC	10, 80	35	LFOSP-8	0.76	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5111 新品	128		5.5	升降	10, 80	35	LFOSP-8	0.76	8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源, 低功耗
AD5121 新品	128		±2.75, +5.5	SPI/FC	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	0.70	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5259	256		±2.75, +5.5	SPI/FC	5, 10, 50, 100	300	LFOSP-10, MSOP-10	0.90	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中
AD5141 新品	256		±2.75, +5.5	SPI/FC	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	0.90	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5231	1024		±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	600	TSSOP-16	1.97	28字节用户可编程NVM
AD5251	64		±2.75, +5.5	FC	1, 10, 50, 100	600	TSSOP-14	1.97	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 12字节用户可编程NVM
AD5122A 新品	128		±2.75, +5.5	FC	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	1.45	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5122 新品	128		±2.75, +5.5	SPI	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	1.45	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5232	256		±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	300	TSSOP-16	2.40	14字节用户可编程NVM
AD5252	256	2	±2.75, +5.5	FC	1, 10, 50, 100	300	TSSOP-14	1.61	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 12字节用户可编程NVM
AD5142A 新品	256		±2.75, +5.5	FC	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	1.65	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5142 新品	256		±2.75, +5.5	SPI	10, 100	35	LFOSP-16, TSSOP-16	1.65	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5235	1024		±2.75, +5.5	SPI	25, 250	35	TSSOP-16	3.52	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 26字节用户可编程NVM
ADN2850	1024		±2.75, +5.5	SPI	25, 250	35	LFOSP-16, TSSOP-16	3.52	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 26字节用户可编程NVM
AD5233	64		±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	600	TSSOP-24	2.50	11字节用户可编程NVM
AD5253	64		±2.75, +5.5	FC	1, 10, 50, 100	300	TSSOP-20	2.49	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 12字节用户可编程NVM
AD5123 新品	128		±2.75, +5.5	FC	10, 100	35	LFOSP-16	2.45	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5124 新品	128		±2.75, +5.5	SPI/FC	10, 100	35	LFOSP-24, TSSOP-20	2.50	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5254	256	4	±2.75, +5.5	FC	1, 10, 50, 100	300	TSSOP-20	2.58	%端到端电阻容差(R-tol)存储在NVM中, 12字节用户可编程NVM
AD5143 新品	256		±2.75, +5.5	FC	10, 100	35	LFOSP-16	2.85	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5144A 新品	256		±2.75, +5.5	FC	10, 100	35	TSSOP-20	2.90	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源
AD5144 新品	256		±2.75, +5.5	SPI/FC	10, 100	35	LFOSP-24, TSSOP-20	2.90	LGST <sup>*</sup> 8%端到端电阻容差(R-tol), 2.3 V工作电源

<sup>1</sup> TP = 可编程次数

\*线性增益设置模式

# 易失性数字电位计

产品型号	分辨率 (游标步进数)	通道数	最大端电压范围(V)	接口	标称电阻 (kΩ)	绝对温度系数 (ppm/°C)	封装引脚	报价 (千片订量, 美元/片)	注释
AD5228	32		5.5	按钮	10, 50, 100	35	TSOT-8	0.34	内置去抖器, 支持手动
AD5201	33		±2.75, +5.5	SPI	10, 50	500	MSOP-10	0.50	低游标电阻
AD5227	64		5.5	升/降	10, 50, 100	35	TSOT-8	0.36	温度系数在电位器模式下为10 ppm/°C
AD5246	128		5.5	PC	5, 10, 50, 100	35	SC70-6	0.45	超紧凑; 仅可变电阻器模式
AD5247	128		5.5	PC	5, 10, 50, 100	35	SC70-6	0.45	超紧凑
AD5220	128		5.5	升/降	10, 50, 100	800	MSOP-8, SOIC-8	0.90	
AD7376	128		±16.5, +33	SPI	10, 50, 100	300	TSSOP-14, SOIC-16	2.86	高压
AD5160	256		5.5	SPI	5, 10, 50, 100	35	SOT-23-8	0.64	
AD5165	256		5.5	SPI	100	35	TSOT-8	0.58	低功耗: 0.05 μA
AD5245	256	1	5.5	PC	5, 10, 50, 100	35	SOT-23-8	0.64	
AD5161	256		5.5	SPI	5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	0.65	
AD5241	256		±2.75, +5.5	PC	10, 100, 1000	30	TSSOP-14, SOIC-14	0.93	
AD5200	256		±2.75, +5.5	SPI	10, 50	500	MSOP-10	0.89	
AD8400	256		5.5	SPI	1, 10, 50, 100	500	SOIC-8	1.13	1 kΩ选项具有高带宽
AD5260	256		±5.5, +16.5	SPI	20, 50, 200	35	TSSOP-14	1.80	
AD5280	256		±5.5, +16.5	PC	20, 50, 200	35	TSSOP-14	1.80	
AD5290	256		±16.5, +33	SPI	10, 50, 100	35	MSOP-10	1.97	高压
AD5293	1024		±16.5, +33	SPI	20, 50, 100	35	TSSOP-14	2.55	高压, 1%端到端电阻容差(R-tol)、低THD
AD5222	128		±2.75, +5.5	升/降	10, 50, 100, 1000	35	TSSOP-14, SOIC-14	0.80	
AD5162	256		5.5	SPI	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.00	1可变电阻器模式、1电位器模式
AD5207	256		±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	500	TSSOP-14	1.06	AD8402替代产品
AD8402	256		5.5	SPI	1, 10, 50, 100	500	TSSOP-14, SOIC-14	1.68	1 kΩ选项具有高带宽
AD5262	256	2	±5.5, +16.5	SPI	20, 50, 200	35	TSSOP-16	1.97	
AD5243	256		5.5	PC	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.00	可变电阻器/电位器模式
AD5248	256		5.5	PC	2.5, 10, 50, 100	35	MSOP-10	1.00	仅可变电阻器模式
AD5242	256		±2.75, +5.5	PC	10, 100, 1000	30	TSSOP-16, SOIC-16	1.27	
AD5282	256		±5.5, +16.5	PC	20, 50, 200	35	TSSOP-16	1.97	
AD5203	64		5.5	SPI	10, 100	700	TSSOP-24, SOIC-24	1.47	
AD5204	256		±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	700	LFSP-32, TSSOP-24, SOIC-24	1.52	预设为中间电平/零电平引脚
AD8403	256	4	5.5	SPI	1, 10, 50, 100	500	TSSOP-24, SOIC-24	2.79	1 kΩ选项具有高带宽
AD5263	256		±7.5, +16.5	SPI/PC	20, 50, 200	30	TSSOP-24	2.58	额外的PC地址引脚(AD0和AD1)
AD5206	256	6	±2.75, +5.5	SPI	10, 50, 100	700	TSSOP-24, SOIC-24	1.94	预设为中间电平/零电平引脚

Analog Devices, Inc.  
Worldwide Headquarters  
One Technology Way  
P.O. Box 9106, Norwood, MA  
02062-9106 U.S.A.  
Tel: (1 781) 329 4700  
Fax: (1 781) 461 3113

亚太区总部  
上海市黄浦区湖滨路222号  
企业天地大厦22层  
邮编: 200021  
电话: (86 21) 2320 8000  
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司  
深圳市福田区  
益田路与福华三路交汇处  
深圳国际商会中心4205-4210室  
邮编: 518048  
电话: (86 755) 8202 3200  
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司  
北京市海淀区  
上地东路5-2号  
京蒙高科大厦5层  
邮编: 100085  
电话: (86 10) 5987 1000  
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司  
湖北省武汉市东湖高新区  
珞瑜路889号光谷国际广场  
写字楼B座2403-2405室  
邮编: 430073  
电话: (86 27) 8715 9968  
传真: (86 27) 8715 9931

亚洲技术支持中心  
免费热线电话: 4006 100 006  
电子邮箱:  
china.support@analog.com  
技术专栏:  
www.analog.com/zh/CIC  
样品申请:  
www.analog.com/zh/sample  
在线技术论坛:  
ezchina.analog.com