

# 数字电位计与机械电位计：使系统性能达到最佳的重要设计考虑因素

作者：Joseph Creech和 David Rice, ADI公司

## 摘要

本文详细介绍如何结合使用数字电位计及其他元件，其中重点说明了对于所有用例都极为重要的设计考虑因素和规格(用于确保设计人员获得最佳的系统性能)。本文还将论述结合使用数字电位计和其他元件(例如运算放大器)来创建灵活的多用途系统时应考虑到的重要设计考虑因素和规格。另外，本文还将探究数字电位计与传统电位计相比的设计优缺点。在本文中，还使用了许多实例来证明：数字电位计所能提供的改善比更传统的替代解决方案还要显著。例如，在运算放大器中，用数字电位计作为反馈电阻，可以使运算放大器的增益根据输入信号的幅度而交替。

数字电位计是数控可变电阻器，可取代功能等同的机械电阻器。尽管数字电位计在功能上与机械电位计类似，但在技术规格、可靠性以及可重复性等方面极为出众，适用于许多设计。电位计的作用是通过改变设备电阻来调整电压或电流。然后，当与其他元件(如运算放大器)配合使用时，此调整可用于设置不同的电平或增益。设计人员使用数字电位计这样的可变元件可设计出灵活的多功能系统。例如，在运算放大器中，用数字电位计作为反馈电阻，可以使运算放大器的增益根据输入信号的幅度而交替。这样，设计人员就可以减少元件数量(如多个运算放大器)，最大限度增加系统可支持的输入信号类型，同时减小PCB尺寸。数字电位计具有小尺寸和多功能特性。

## 数字电位计与机械电位计

数字电位计和机械电位计具有一些共同点，在许多应用中可以互换。两者都是可调的，提供各种端到端电阻选项，可满足对用户可调电阻的需求。机械电位计相对于数字电位计的一些优势包括：可耐受更高电压，载流能力更强，功耗也较大。然而，受设计制约，随着时间的推移，机械电位计的性能可能改变，出现可靠性问题。它们对冲击和振动更加敏感，机械游标触点电阻可能因氧化、老化和磨损而改变。这会缩短机械电位计的可用寿命。

数字电位计由多个CMOS传输门组成(见图1)。由于不存在机械元件，因此，数字电位计对冲击、磨损、老化和触点具有较高的耐受能力。

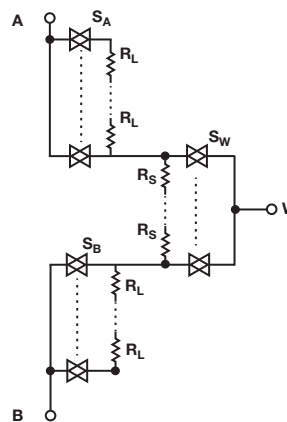


图1. 数字电位计—内部结构

## 使用数字电位计时需考虑的因素

如所有元件一样，在针对具体应用选择正确的元件时，有些因素是必须考虑的。各项规格的重要性排序取决于最终用途和其他系统考虑因素。

表1. 选择数字电位计时的重要考虑因素

输入信号电压	最大电流和功率	端到端电阻	容差和温度系数	分辨率/通道密度
线性度	上电	存储器	接口	尺寸

了解这些考虑因素的最佳方法是查看它们如何影响特定应用中数字电位计的选择。因此，我们现在将更详细地查看数字电位计的两个重要用例。

数字电位计的常见应用如下：

- 直流和交流信号衰减器
- 改变运算放大器的增益

## 如何将数字电位计用作衰减器

A数字电位计可用于仿真简单的低分辨率数模转换器(DAC)。图2显示了此设置以及部分常见术语。端到端电阻被定义为 $R_{AB}$ ，即A、B两端子间的电阻。 $R_{AW}$ 和 $R_{WB}$ 指的是游标和端子之间的电阻。图2还列出了传递函数。

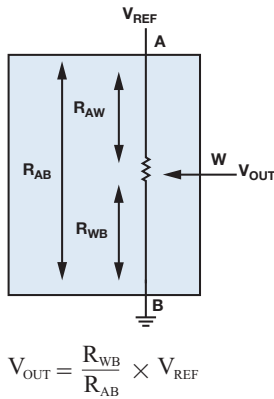


图2. 作为低分辨率DAC的数字电位计

在此设置中，选择数字电位计时需要注意三个关键参数：电源电压范围、数字电位计分辨率和线性度。

电源电压<sup>1</sup>和分辨率<sup>2</sup>是非常重要的考虑因素，因为这两项规格涉及数字电位计可以通过的输入范围以及可以实现的不同电阻水平数量。数字电位计的线性度表示方式与DAC相似，即使用INL（积分非线性）和DNL（数字非线性）来衡量。INL指真实数字电位计与从零电平到满量程所画理想直线之间的最大偏差。DNL指连续代码的输出与理想传递函数之差。

对于交流应用，与直流电源相同的参数同样适用（电源电压范围、分辨率和线性度）。总谐波失真(THD)和带宽这两个重要因素也应予以考虑。

## 创建可变增益运算放大器时如何使用数字电位计

数字电位计在改变运算放大器的增益时非常有用。运用数字电位计，可以精确设置和改变 $R_b/R_a$ 增益比。利用增益控制的应用包括音量控制、传感器校准和液晶显示屏中的对比度/亮度。然而，在配置过程中必须考虑数字电位计的多个特性。

如果在电位计模式下使用数字电位计，则在电阻从零电平增至满量程的过程中，必须知道数字电位计的传递函数。随着 $R_{AW}$ 间的电阻增加， $R_{WB}$ 间的电阻降低，这会形成对数传递函数。对数传递函数更适用于人耳和人眼响应。(图3(a))

如果应用要求线性响应，可通过以下方式线性化数字电位计：在变阻器模式下使用数字电位计(图3(b))；采用游标DAC配置(图3(c))；或通过线性增益设置模式，该功能为ADI digiPOT+系列器件(如AD5144)的独有功能(图3(d))。

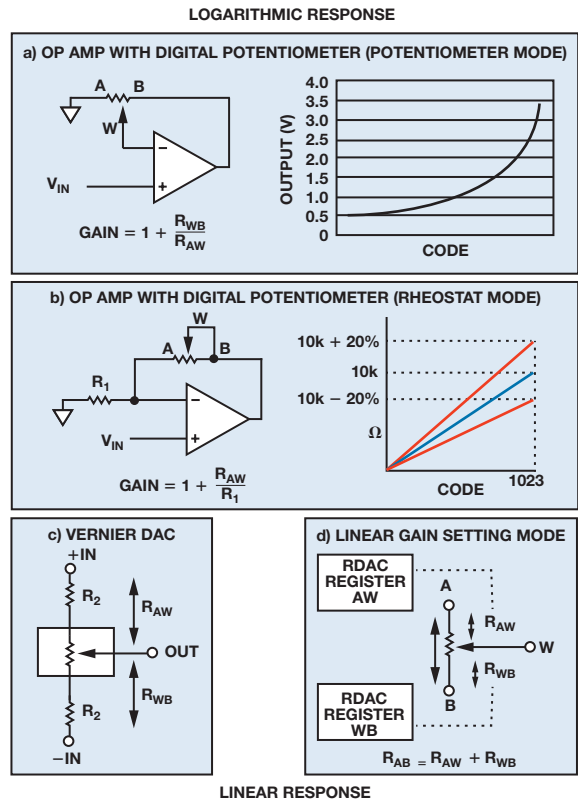


图3. 电位计配置

## 可变电阻器模式下结合使用分立电阻器

在变阻器模式下使用数字电位计，并将其与分立式电阻串联，可以线性化输出(图3(b))。这种设计虽然简单，但要维持系统精度，必须考虑一些设计因素。

出于不同原因，机械电位计和数字电位计都具有一定的电阻容差。对于机械电位计，容差可能因实现可重复值的难度而变化。对于数字电位计，虽然制造工艺也会造成容差，但与机械电位计相比，其值的可重复性高得多。

分立式表贴电阻器的失调可能低至1%，而有些数字电位计的端到端电阻容差则可能高达20%。这种不匹配可能导致分辨率下降，结果可能造成严重问题，在无法实施监控以补偿误差的开环应用中尤其如此。在可以实施监控的应用中，因数字电位计本身极其灵活，因而可以通过简单的校准程序来调整数字电位计的游标位置，并针对任何失调进行调整。

ADI公司的数字电位计产品组合的额定容差范围为1%至20%，以满足最为严苛的精度和准确度需求。某些数字电位计(如AD5258/AD5259)经过误差容差出厂测试，并将结果存储在用户可访问的存储器中，以便在生产时实现电阻匹配。

<sup>1</sup> 通过数字电位计端子发送的信号仅限于最大和最小电源电压。如果信号超过电源电压，内部ESD保护二极管会将信号钳位。对于交流信号，则可偏置信号，以维持单电源范围，或者考虑使用双电源数字电位计。

<sup>2</sup> 就如DAC一样，分辨率指的是游标位置的数量。常见数为128、256个，最高可达1024个。

## 线性增益设置模式

最后一种方法是使用ADI digiPOT+产品组合独有的线性增益设置模式。图3(d)展示了如何通过专有架构对各个 $R_{AW}$ 和 $R_{WB}$ 串的值进行独立编程。运用此模式可通过固定一个串( $R_{WB}$ )的输出和设置另一个串( $R_{AW}$ )的方式来实现线性输出。这种方式类似于将变阻器模式下的数字电位计与分立式电阻结合使用，但整体容差误差低于1%，并且无需任何额外的并联或串联电阻。

这是电阻误差所致，在两个电阻串阵列中都很常见，可以忽略不计。图4表明，两个电阻之间的失配误差在较高代码下很小。当代码小于 $\frac{1}{4}$ 量程时，失配的确会超过 $\pm 1\%$ ，但是，造成这种情况的原因是内部CMOS开关电阻效应增加了误差，此误差不能忽略。

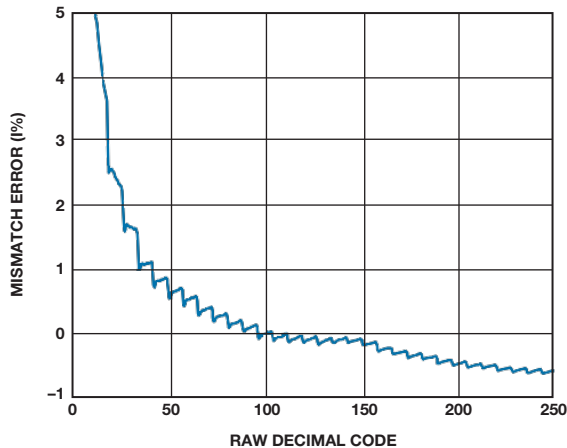


图4. 10k电阻失配误差

## 存储器在应用中为何如此重要

在利用数字电位计设置电路电平，或者校准传感器和增益设置时，数字电位计的上电状态对于确保准确而快速的配置非常重要。数字电位计提供多种选项，以确保器件能以用户首选状态上电。数字电位计有两类：

- 非易失性—器件集成了片内存储器元件，用于存储用户选定的、在上电时需要配置的游标位置。
- 易失性—器件不具备可编程存储器，而是根据器件配置在零电平、中间电平或满量程下为游标位置加电。有关详情请参见每种产品的数据手册。

非易失性数字电位计还有一些其他选项：

- EEPROM
- 一次性可编程(OTP)
- 多次可编程(MTP)

广泛的存储器选项允许针对特定系统定制数字电位计选择。例如，对于要求恒定调整的系统，可使用易失性数字电位计。对于只要求工厂测试校准的系统，则可使用OTP电位计。EEPROM数字电位计可用于保持上次游标位置，这样，上电时，数字电位计可返回上次状态，并且可在上电后继续根据需要进行调整。

## 小结

如上文所示，数字电位计可替代机械电位计来创建易用的可调节信号链，从而改善规格、可靠性和PCB面积。设计时考虑上述因素即可实现这些改善以及减少系统设计考虑因素。

## 作者简介

David Rice是ADI公司爱尔兰利默里克的线性精密技术部门的digiPOTs应用工程师。David拥有科克理工学院嵌入式系统工程硕士学位，于2012年毕业后加入ADI公司。联系方式：[david.rice@analog.com](mailto:david.rice@analog.com)。

Joseph Creech于2005年获得科克大学工学学士学位，于2013年获得利默里克大学工商管理硕士学位。Joseph于2005年加入ADI公司，从事多条产品线的应用与功能评估工作。Joseph目前担任digiPOT产品组合营销工程师。联系方式：[joseph.creech@analog.com](mailto:joseph.creech@analog.com)。

## 在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

[ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)。



**全球总部**

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

**大中华区总部**

上海市浦东新区张江高科技园区  
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼  
邮编: 201203  
电话: (86 21) 2320 8000  
传真: (86 21) 2320 8222

**深圳分公司**

深圳市福田中心区  
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  
在线购买:  
www.analog.com/zh/BOL  
在线技术论坛:  
ezchina.analog.com