

使用数字电位器替代机械电位器

作者: Miguel Usach

简介

自电子电路的早期阶段开始,电位器就得到了广泛的使用,使用它可方便地校正系统、调节放大器内的偏移电压或增益、调谐滤波器以及控制屏幕亮度等。机械电位器本身存在一些固有的局限性,比如:尺寸大小、机械磨损、游标污染、电阻漂移、对振动和湿度敏感以及布局缺乏灵活性,这一切都是由其物理结构所决定的。

数字电位器旨在解决所有上述问题,提供更高的可靠性和精度,电压毛刺更小。目前,只有在数字电位器不适用的环境中(比如:高温环境或大功率应用场合),才会使用机械电位器。

将两种技术进行对比是辨别系统最佳解决方案的最简单方法。

结构

机械电位器

机械电位器由一个很大的电阻元件组成,在外部通过两个端子相连接。电阻元件的形式多种多样,根据所采用的技术,其封装方法也不同。可以为单圈或多圈,或者简单的扁平型封装。

第三个端子也称为游标,它可在整个电阻元件上移动,来选择每个外部端子与游标之间的电阻大小。在游标和电阻元件之间存在着较小的接触电阻,通常称之为游标电阻(如图1所示)。

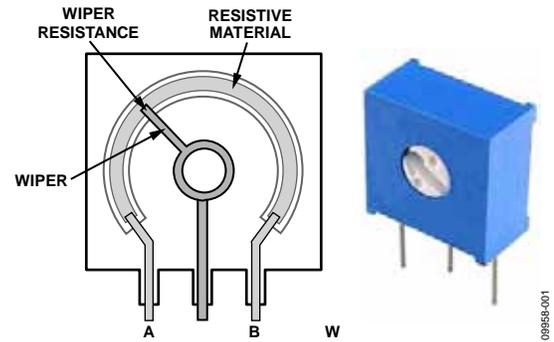


图1. 机械电位器

数字电位器

数字电位器由一个电阻元件阵列组成,该阵列的终端通过两个端子(A和B)与外部相连。在两个无源电阻的结点处,有一个开关。这些开关通过与外部端子(称之为游标或W)结合的单个触点互相连接(如图2所示)。

由于这些开关通过互补金属氧化物半导体(CMOS)加工工艺设计而成,因此允许电流以任意方向流动。这些开关由一个数字模块控制,并且一次只能接通一个开关。通过与机械电位器进行类比,寄生开关电阻也可称为游标电阻。

结构综述

机械电位器更容易受到物理环境变化(比如:振动、冲击和游标污染)的影响,这一切都是由其物理结构所决定的。而拥有整体结构的数字电位器,在所有上述情况下,都不会受到影响。

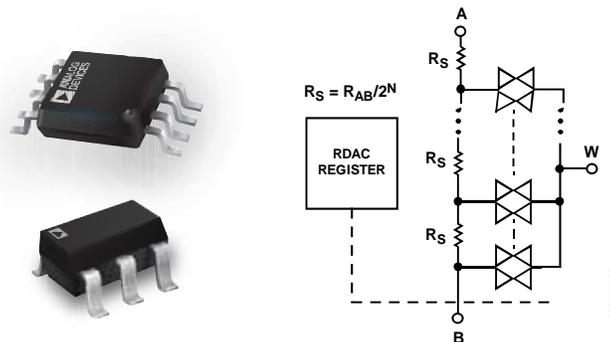


图2. 数字电位器

调节

机械电位器

从理论上来说，由于游标可在整个电阻上移动，因此，机械电位器可提供无限的分辨率；但是调节电阻时所形成的各物理因素(比如：螺丝刀压力或材料间的摩擦)会使精度下降，这样就会造成电阻的最终值准确度较低。

需要注意的是，重新调节的最大次数或平均故障间隔时间(MTBF)，通常都不超过几千次。

数字电位器

游标位置取决于RDAC寄存器中的内容，在寄存器中写入内容的次数没有限制。如图3和图4所示，使用SPI、I2C或up/down等数字接口、手动使用按钮开关或数字编码器，都可将内容写入RDAC寄存器。

数字电位器类似于机械电位器，如果事先对其进行调节，则在上电时，它可储存RDAC代码。ADI公司的数字电位器提供三种不同的存储器技术：熔丝、EEPROM、易失性数字电位器。

熔丝

类似于在机械电位器上放置环氧树脂，熔丝对于只需设定一次的系统校准来说是理想之选。ADI公司提供1到50次的可编程熔丝存储器。

EEPROM

EEPROM耐久性达100万周期，数据保存期限100年，对于需保留最近编程值(如：音量控制应用)的系统来说，EEPROM是理想的选择。

易失性

RDAC寄存器默认在中间电平时加载，如果电源断开则无法保持该电阻大小。动态系统会持续重新校准输出，因此易失性数字电位器是此类系统的理想之选。它无需恢复之前的数值，或者也可以在上电/复位时，用控制器来设置数值。

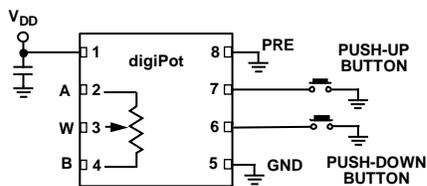


图3. 按钮接口

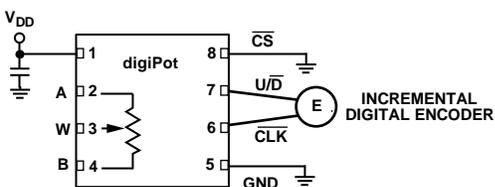
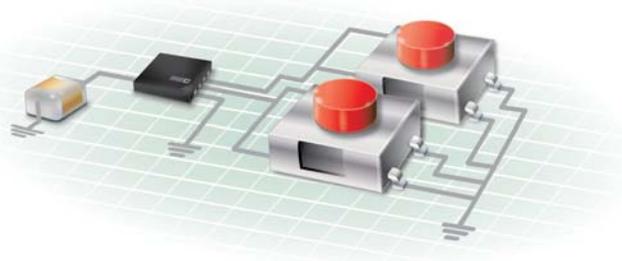
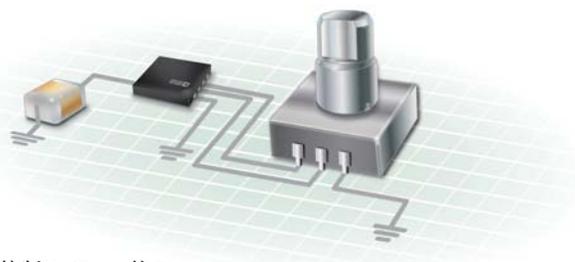


图4 使用数字编码器控制Up/Down接口



09985-003



09985-004

电阻元件

机械电位器

由于电阻元件采用的可能是各种不同的材料(比如:金属陶瓷、石墨或导电塑料),因此,电阻的大小就可能为数十欧乃至兆欧,在额定误差范围内得到保证。

该误差被称为电阻容许误差,根据电位器材料的质量和所采用的不同工艺,它会上下波动。典型值范围在 $\pm 30\%$ 和 $\pm 10\%$ 之间,更高品质电位器的误差可低至 $\pm 3\%$ 。

另外一种误差是由于电阻元件的温度所造成的。该种依赖性可大可小,它取决于材料。最终电阻值会随温度而成比例变化。该误差被称之为温度系数或TempCo。

线绕电阻等较新材料的温度系数可低至 $10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。而旧的机械电位器所采用的材料为石墨,但其温度依赖性高达 $500 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。

存在一些与材料相关的限制(比如:最大功耗,可小至几毫瓦,大至数百瓦)。无论情况如何,电阻终端之间的电压都与功率成正比。该电压大小可为数十伏,也可为数百伏,甚至上千伏。

一般而言,机械电位器中电压和电流的额定值虽然较高,但它们与环境温度成反比例关系。设计者应当基于最终应用中的预期最高温度来验证电位器是否能够处理最大估计功率。

表1显示的是机械电位器(根据所使用的材料进行分类)的所有特性,以供快速参考。

表1: 机械电位器的材料对比

特性	材料			
	金属陶瓷	石墨	导电塑料	线绕材料
容差	高	高	中等	低
温度系数	高	非常高	高	低
功率	中等	中等	中等	高
报价	中等偏低	低	高	高

数字电位器

ADI公司提供最宽的阻值可选范围: $1\text{k}\Omega$ 至 $1\text{M}\Omega$ 。

电阻容许误差之前为 $\pm 20\%$,但现在已经有所下降。ADI公司目前提供容许误差为 $\pm 8\%$ 的电阻,或经校准后容许误差为 $\pm 1\%$ 的精密电阻。

另外,具有非易失性EEPROM的数字电位器通常可存储容许误差,这些误差可通过控制器读回,并被用于校正外部电阻。

任意给定代码下的温度依赖性和温度系数,都取决于两个因素:电阻元件和开关电阻。开关电阻较小,但在较低代码处,所选择的电阻也很小时,由于阻值非常接近,开关电阻变得很明显。开关电阻的温度系数所影响到的代码数,直接取决于标称电阻值,该区域的典型温度系数约为 $600 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。

电阻元件所采用的主要材料有两种:多晶硅或薄膜金属。多晶硅是一种常用材料,它与石墨类似,对于温度的依赖性非常高,温度系数高达 $600 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。薄膜金属电阻的温度系数则较低,大约为 $35 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。ADI公司数据手册中给出了任意给定代码下的温度系数图表。

由于尺寸较小,数字电位器的功耗也很小,在数十毫瓦以内。与机械电位器相比,在所有温度范围内,该功率保持恒定。数字电位器最大端电压由供电轨来限定。就不同的数字电位器而言,其电压范围可从 2.3V 至 33V 。但是,任何情况下,最大电流通常都不会超过几毫安。

附加技术规格

使用数字电位器时，开关会引入一些与机械电位器不相关的技术规格。

由于开关中存在寄生电容，所以有带宽限制。这也就决定了，在游标内，可穿过电阻端的最大信号频率的衰减量小于3dB。该传递公式与低通滤波器相似。

电容与所选择的标称电阻无关，而仅仅取决于内部开关设计。因此，使用较低的标称电阻值可获得较高的带宽。表2为一个示例。

表2 AD8400最大频率和标称电阻

标称电阻	1 kΩ	10 kΩ	50 kΩ	100 kΩ
Maximum frequency	5 MHz	600 kHz	125 kHz	71 kHz

游标电阻的非线性度会增加谐波失真程度。总谐波失真(THD)衡量信号在通过电阻后所下降的程度。图5显示了一个放大的图示。

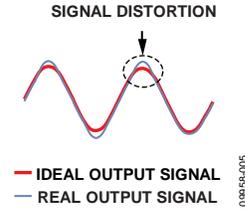


图5. THD效应

例如，如果总谐波失真(THD)为-80 dB，则信号下降程度为 $10^{-80/20} = 0.1 \text{ mV}/V_{\text{IN}}$ ，因此如果信号为1 V p-p，则总信号失真为 $0.1 \text{ mV} \times 2 = 0.2 \text{ mV}$ 。

数字电位器的总谐波失真范围为-60 dB到-106 dB，是音频应用的理想选择。

I²C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。