

# 灵巧IC调理 压力传感器信号

在本文的写作中，我常常要停下来喘口气，想一想它是否能为读者所接受，这种焦虑压得我几乎透不过气来。完成之后，顿觉呼吸自如。这是一个比喻，它说明了一个事实，那就是我们的精神状态，焦虑或松弛，与我们的身体行为——呼吸，二者之间有着密切的联系(Fesmire 1994)。

焦虑并不是影响我们呼吸状况的唯一因素，各种情感都有可能影响到呼吸。心理学家们对于各种情感和呼吸状况之间的联系作了大量的研究(Boiten 等, 1994)。这种研究大多都需要各种形式的电子医疗监护设备的支持，其中一部分用来真实纪录一个人的呼吸状况及其变化。

## 呼吸监视仪与智能传感器技术

图1所示的呼吸监视仪用来监视呼吸状况，并给出大致的呼吸深度。这个监视仪监测一些可以用来评价焦虑程度的重要参数：呼吸频率，呼吸的均匀程度，以及呼气 and 吸气之间的间歇。平静、积极的情绪通常会导致呼出长于吸入，二者的时间之比从一个方面揭示出人的焦虑程度。相对较高水平的胸呼吸（相对于腹呼吸）也可说明焦虑程度。对于胸呼吸的观察可增加监视仪的可视信息。

图1中的监视仪采用硅压阻式传感器(PRT)检测吸入和呼出时对应压力的降低和增加。PRT的输出被

馈入一个信号调理IC，后者对PRT的固有误差进行校正，然后将经过补偿的电压信号送入ADC。ADC输出(数字化的压力信号)接着进入一个PC接口，并被转换为RS-232电平。最后，信号被传递到PC，这样就可以显示出呼吸波形，并对以上所述及的参数进行分析。

## 传感器

PRT一般配置为一个紧密的惠斯顿电桥。当有压力施加到PRT的敏感电桥时(图2a)，对角桥臂的电阻值将发生相同方向、相同大小的改变。当一个对角桥臂上的两个电阻值在压力的作用下增加时，另外一个对角桥臂上的一对电阻值降低，反之亦然。对于半敏感电桥PRT(图2b)，则只有半边桥臂的电阻值发生改变。不管是全或半敏感电桥的PRT传感器都具有高灵敏度(>10mV/V)、良好的线性和温度稳定性、无信号滞回等优点，测量范围可上至破坏性极限(Konrad和Ashauer 1999)。

目前，PRT通常被用在中、低精度的应用中，而在高端产品中一般采用应变计——尽管它更为昂贵。然而，新的IC技术已经能够精确校准PRT传感器，将其应用范围扩展到高端领域。

## 传感器误差

校准PRT传感器的主要困难在于它们的误差幅度范围很宽。采用不同工艺生产的PRT传感器具有不同类型的误差和误差范围。甚至由同一个制造商提供的同一型号传感器的误差幅度，彼此之间也会有轻微的差异。

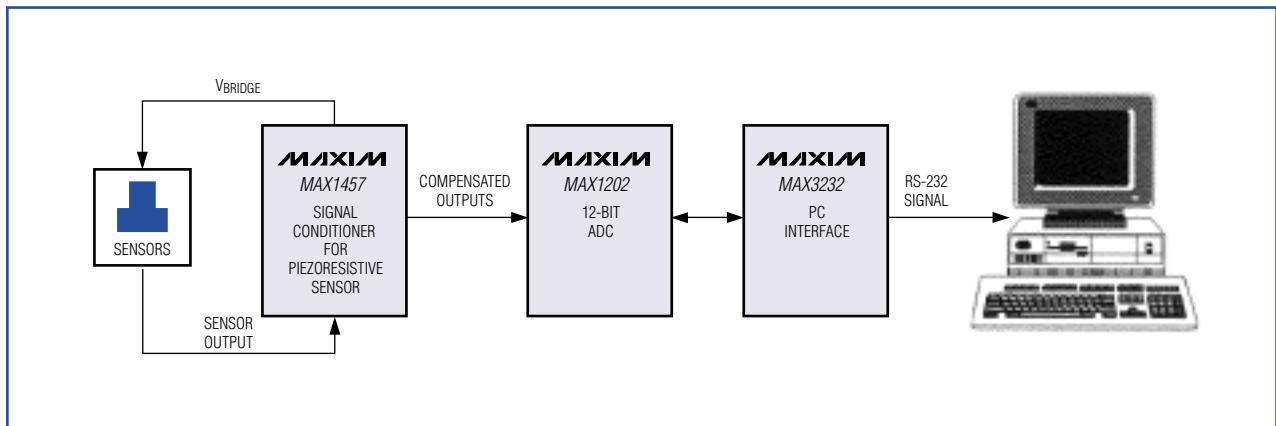


图1. 该框图描述了一个呼吸监视仪。

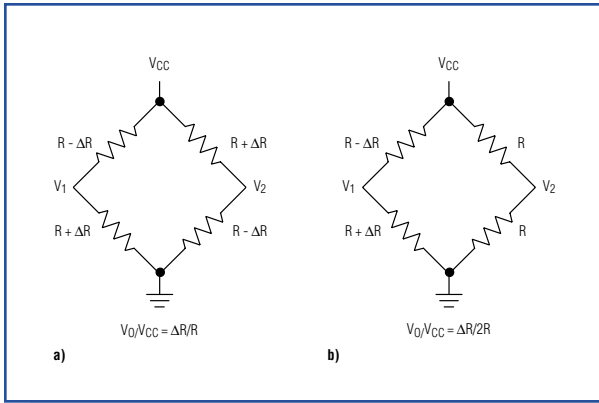


图2. 敏感电桥PRT (a) 的四个桥臂对于压力变化都有响应。半敏感电桥PRT (b) 只有两个桥臂对于压力有响应。

PRT 传感器的误差因素包括“... 满偏信号随温度变化的强烈非线性 (高达  $1\%/^{\circ}\text{K}$ )，很大的初始失调 (可至满偏的  $100\%$  或更高)，以及失调随温度的强烈漂移等。一定限度内，这些缺陷可以由电子电路加以补偿” (Konrad 和 Ashauer 1999)。

一定温度下，图2所示的两种类型PRT桥路电阻 ( $V_{CC}$  和地之间) 能够在很宽的压力范围内保持相当的恒定。然而，随着温度的上升，桥路电阻显著增加。如果电桥由恒流源驱动，桥路电压就会增加。

当桥路电压随着温度的升高而增大时，PRT 灵敏度也随之升高。另一方面，如果保持桥路电压恒定，PRT 的压力灵敏度又会随着温度的升高而降低。因此，灵敏度受两种互相对立的因素之影响：温度和受温度影响的桥路电压。这种桥路电阻或桥路电压的变化可以被现代信号调理IC加以利用，来校正PRT灵敏度在温度范围内的误差。此类IC利用桥路电阻的变化来校正灵敏度随温度的改变。

### 传统校正方法

图3 电路可以补偿PRT精度至适当水平。它可以对失调、失调的温度漂移以及灵敏度的温度漂移进行调整。与灵敏度漂移相关的是满偏输出的温度漂移，这两个参数的温度特性互成正比。图4 表示失调和满偏输出间的关系。

电路中的调零电阻用来补偿传感器在室温下的失调电压，电阻  $R_{TS}$  和  $R_{TZ}$  (或  $R'_{TZ}$ ) 用于校正温度误差。前面提到，桥路电阻随着温度上升而增加，使

传感器两端的电压也增加。这个增加的电压会使传感器的灵敏度上升，也就是说，给定压力下它将输出更高的电压。

然而，如果保持传感器两端电压恒定，传感器的灵敏度就会随着温度的上升而降低。因为桥路电阻受温度影响而增加时，它所引起的灵敏度正向变化系数大于负向灵敏度系数，所以，满偏输出趋向于随着温度而增加。电阻器  $R_{TS}$  可以在温度上升时旁路掉一部分桥路电流，从而抵消上述效应。类似地， $R_{TZ}$  或  $R'_{TZ}$  对失调的漂移进行校正。电路中选择  $R_{TZ}$  还是  $R'_{TZ}$  取决于失调的温度漂移方向。

这种校正方法的主要问题是各补偿元件之间互相影响，使校准非常困难，并限制了所能达到的精度。另外，这种校正技术也不便于采用电子调整。

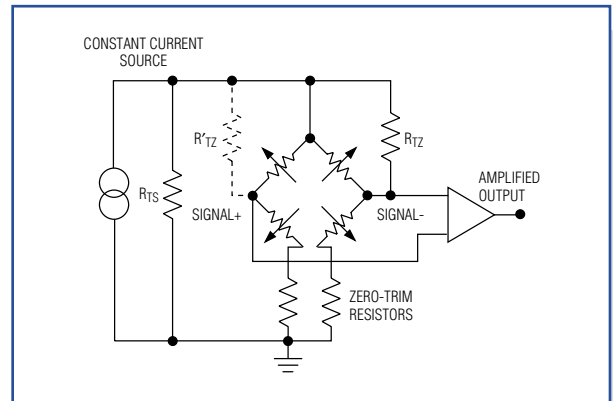


图3. 一种采用温度敏感电阻的传统PRT校正方法。

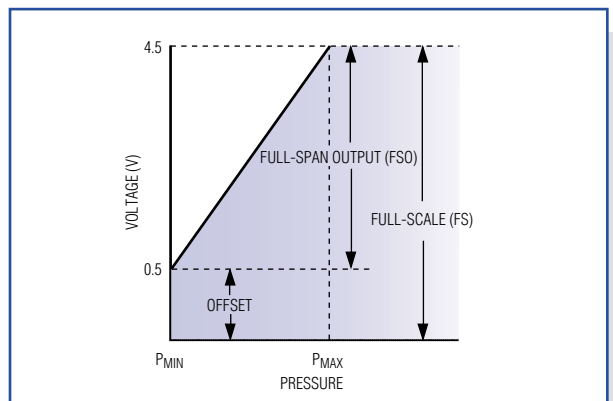


图4. PRT 的失调和满偏输出组合构成满度输出。

## 现代校正方法

图5中，一片信号调理IC(MAX1457)驱动呼吸监视仪的传感器，并校正传感器的误差。它带有一个用于驱动传感器的受控电流源和一个采样传感器桥路电压的ADC。这个电压是电流源输出电流和与温度相关的桥路电阻的乘积。

MAX1457还包括一个可编程增益放大器(PGA)，用于放大传感器的差分输出，以及5个数模转换器(DAC)，用于校正各种不同的传感器误差。由于传感器输出的是微弱信号，PGA的输出电压还不足以驱动ADC。为此，MAX1457的内置运放可用来提升PGA的输出至合适的电平。

桥路电压随温度而上升，这种温度相关性可以用来补偿满偏输出的温度误差。对于恒压激励电桥，满偏输出(FSO)随着温度上升而下降，造成满偏输

出的温度相关误差(FSOTC)。然而，如果使桥路电压随着温度以一定的速率上升，恰好补偿掉满偏灵敏度随温度的下降，FSO将保持恒定。

图6可以说明MAX1457是如何利用这种方法校正温度引起的FSO误差的。首先，由ADC对桥路电压进行量化，根据量化结果，找出一个预先计算好的校正系数(保存在EEPROM内)送入FSOTC DAC。然后，DAC输出电压对桥路激励电流进行调整。调整后的激励电流改变了桥路电压，从而补偿了特定温度下，因传感器的灵敏度改变造成的FSO误差。为实现平滑校正，桥路电压被用作FSOTC DAC的参考输入，在相邻两个数字补偿点(由ADC提供给EEPROM)之间进行模拟补偿。

同样的方法被用于补偿失调的温度漂移，所不同的是，OFFSETTC DAC的输出电压被馈入PGA输出端的求和节点(而不是MAX1457的电流源)。

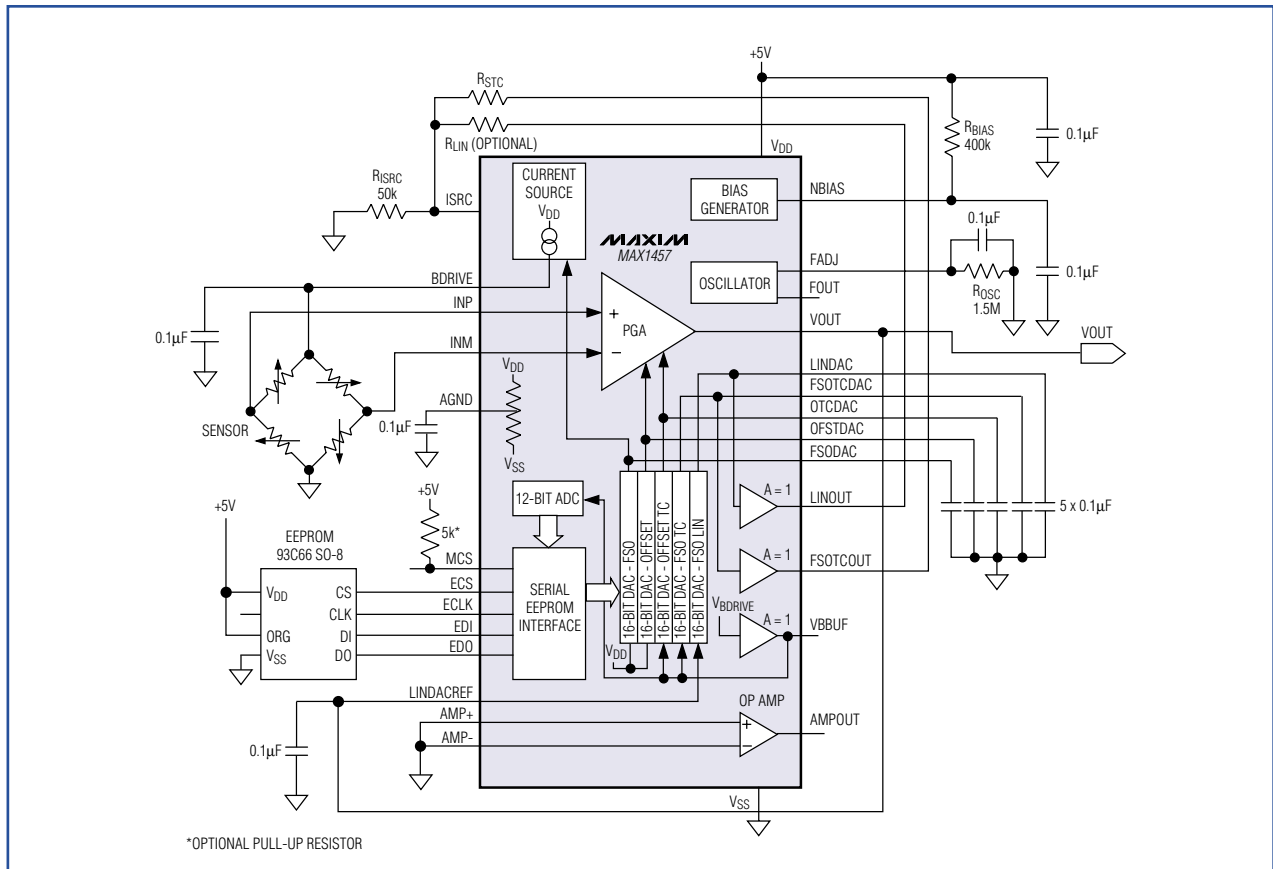


图5. 一片特殊IC(MAX1457)可以为压力传感器提供激励电流源和误差补偿,获得0.1%的精度。

按以下步骤计算温度校正系数并将其存储于EEPROM: 首先, 将传感器和MAX1457置于最低温度并获取不同压力下的传感器数据, 然后, 再将传感器和MAX1457置于最高温度下获取这些数据。利用这些极限温度点的数据, 专为MAX1457设计的应用软件计算出四种校正系数(FSO, FSOTC, Offset和OffsetTC)。这四种系数可以修正PRT的一阶误差(对于呼吸监视仪所要求的精度水平, 不必考虑用于压力非线性的第五种系数)。

为获得0.1%的精度, MAX1457允许在特定温度进行补偿, 只需对每个规定温度计算FSOTC和OffsetTC。由用户决定校准点的数量(最多至120点)。如果传感器误差具有良好的可重复性, 此种传感器-MAX1457组合可获得优于0.1%的精度。

MAX1457的补偿技术相对于图3所示的传统方法具有明显优势。MAX1457消除了补偿元件之间的相互影响, 这得益于相互独立的失调和满度调整: 失调在PGA输出端进行补偿, 而FSO的修正通过电流源实现。另一个好处是, 由于针对不同温度点进行特定修正, 获得更高的精度成为可能。这种方法本质上优于采用外部电阻的方式, 因为后者无法在特定温度点对传感器进行精确补偿。

## 简化的补偿IC

MAX1457所提供的精度相对于一个呼吸监视仪的要求高出了许多, 也就是说, 没有必要采用16位分辨率的校准DAC进行校正。然而, 选择这个器件主要是因为它内部还包含有一个附加的运放, 可以对呼吸监视仪传感器的低电平信号进行放大。

尽管MAX1457的精度高出了应用所需, 它的温度误差补偿能力对于不大的温度变化也是很有必要的: 10°C的变化通常会造成PRT的FSO发生3%的改变。由于MAX1457使监视仪可以工作在很宽的温度范围, 使其有可能应用于诸如空间探测及潜水呼吸器等领域。

MAX1450信号调理器(图7)的功能本质上与MAX1457相同, 只是用电阻器代替DAC来进行误差校正。因为MAX1450采用比MAX1457少得多的校准点, 其精度为1%而非0.1%。MAX1450通常被用于混合方案, 这些方案将MAX1450和激光微调电阻相结合提供了一种低成本解决方案。

第三种IC(图8中得MAX1458/MAX1478)基本上采用和前面两种相同的补偿技术, 但采用12位(而非16位)补偿DAC。MAX1458/MAX1478还内

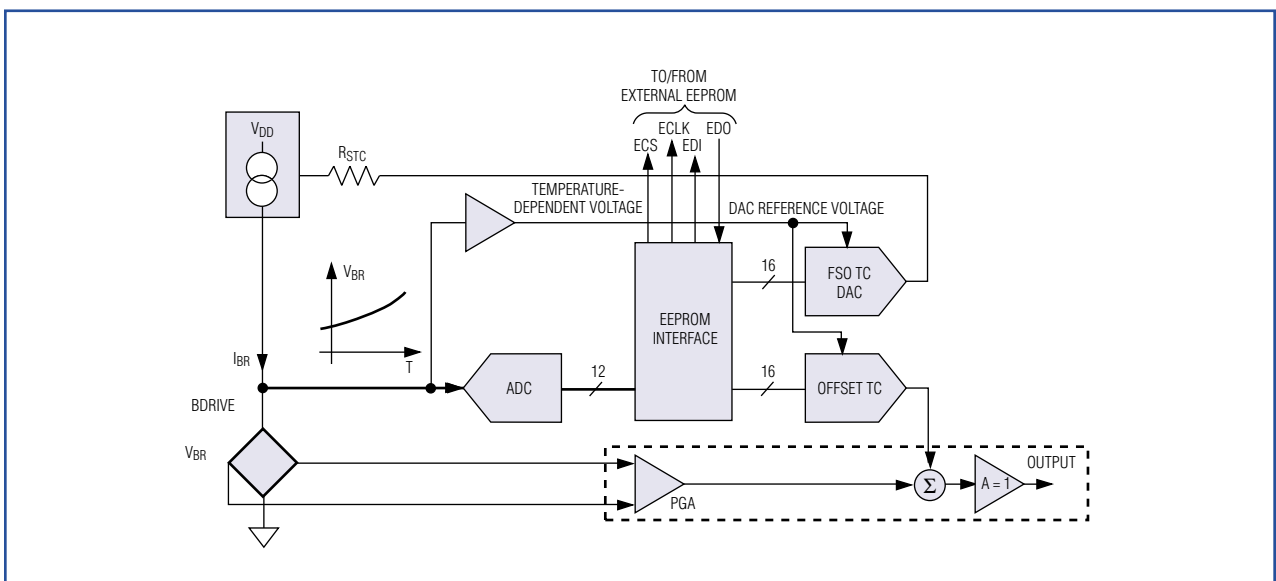


图6. 该MAX1457内部电路补偿失调和满偏温度误差。

置了EEPROM用于将补偿系数保存于芯片内部。和MAX1450一样,它们提供1%的精度。

MAX1450/MAX1458/MAX1478均采用计算出的四种补偿系数对传感器进行补偿(如上所述),计算所用数据在两个温度点测得—通常是极限工作温度。不同于此,MAX1457允许在用户选定的温度点

(多达120点)进行校正,从而可获得更高的补偿精度。有关这种补偿原理更为详细的论述,可参见Konrad和Ashauer(1999),及Dancaster等(1997)的文章。

类似文章刊登于*Sensors Expo in Cleveland, Ohio, September 14-16, 1999*。

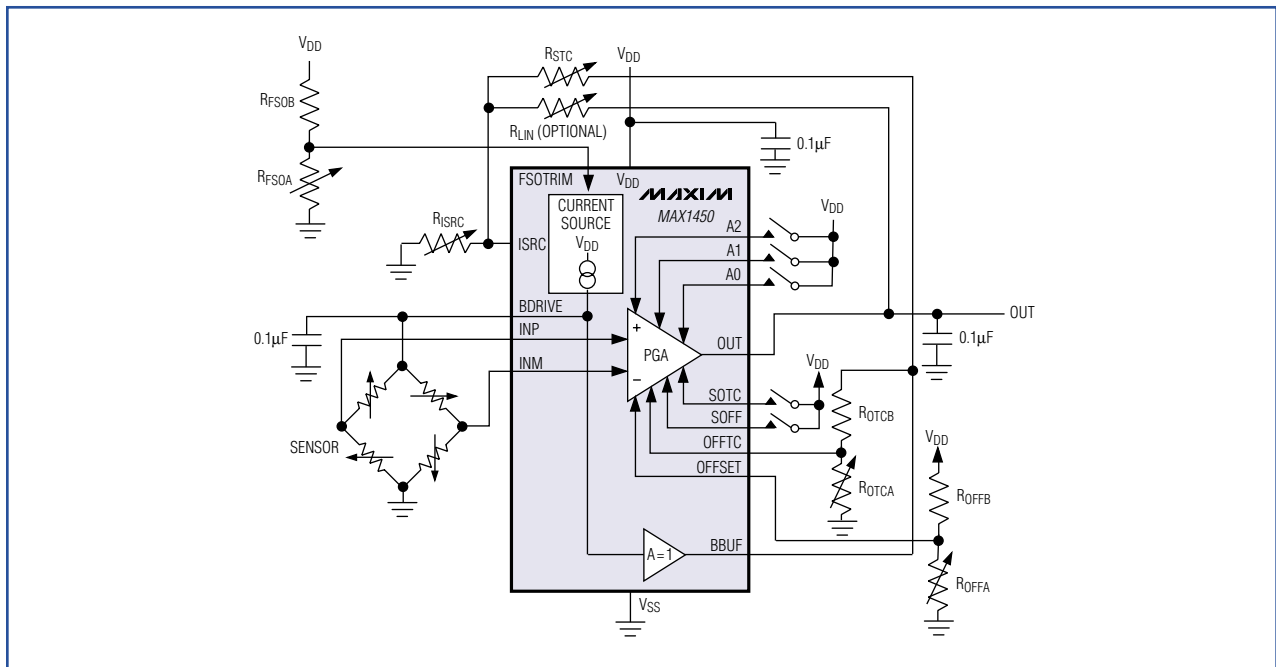


图7. MAX1450信号调理器配合外部激光微调电阻可提供1%精度。

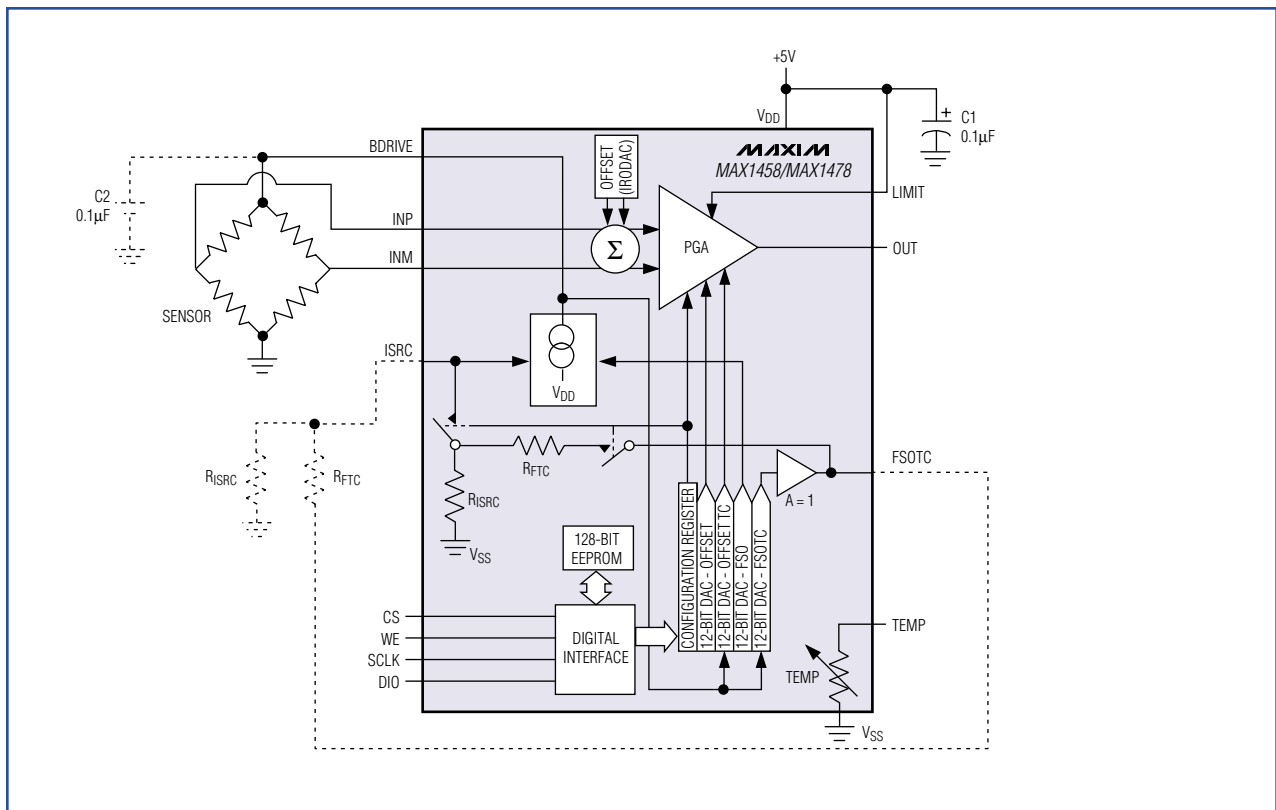


图8. MAX1458/MAX1478 内置的12位DAC可提供1%精度的校准。

### 参考文献

- Boiten, Frans A., Nico H. Frijda, and Cornelius J. E. Wientjes. 1994. Emotions and respiratory patterns: review and critical analysis. *International Journal of Psychophysiology* 17: 103–128.
- Dancaster, John, Mark Bowen, and Ali Rastegar. 1997. Enhanced performance silicon pressure sensors for automotive applications. *Society of Automotive Engineers* (reprinted from *Sensors and Actuators*, 1997): 59–65.
- Fesmire, Steven A. 1994. Aerating the mind: the metaphor of mental functioning as bodily functioning. *Metaphor and Symbolic Activity* 9 (1): 31–44.
- Konrad, Bernhard, and Martin Ashauer. 1999. Demystifying piezoresistive pressure sensors. *Sensors* 16 (7): 12–25.