

Circuits from the Lab® 参考设计经过测试检验，有助于加速设计流程，简化系统集成，从而有效应对当今模拟、混合信号和 RF 设计方面的挑战。如需更多信息和/或技术支持，请访问：www.analog.com/CN0398。

连接/参考器件	
AD7124-8	集成 PGA 和基准电压源的 8 通道、低噪声、低功耗 24 位 Σ - Δ 型 ADC
ADR3433	低功耗、高精度基准电压源
ADA4661-2	18 V、精密、725 μ A、4 MHz、CMOS 轨到轨输入输出运算放大器
ADP7118-2.5	20 V、200 mA 低噪声 CMOS LDO 线性稳压器

带温度补偿功能的土壤湿度和 pH 值测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0398 电路评估板\(EVAL-CN0398-ARDZ\) Arduino 兼容平台板\(EVAL-ADICUP360\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

图 1 所示电路是一种完整的单电源、低功耗、高精度解决方案，用于土壤湿度和 pH 值测量，包含温度补偿功能。该电路针对容性土壤湿度传感器进行了优化，这类传感器对水的盐度不敏感，并且不会随着时间推移而受到侵蚀。

该电路还能测量土壤 pH 值，此功能适合多种不同应用。

电路所需总电流（不包括湿度传感器）最大值仅为 1.95 mA。利用脉宽调制(PWM)信号，仅在需要使用湿度传感器的很短时间内使能传感器，可以最大程度地减少其所需额外功耗。

印刷电路板(PCB)采用 Arduino 兼容扩展板尺寸设计，并与 Arduino 兼容平台板 [EVAL-ADICUP360](#) 对接，有助于快速开发原型。

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs 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 Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

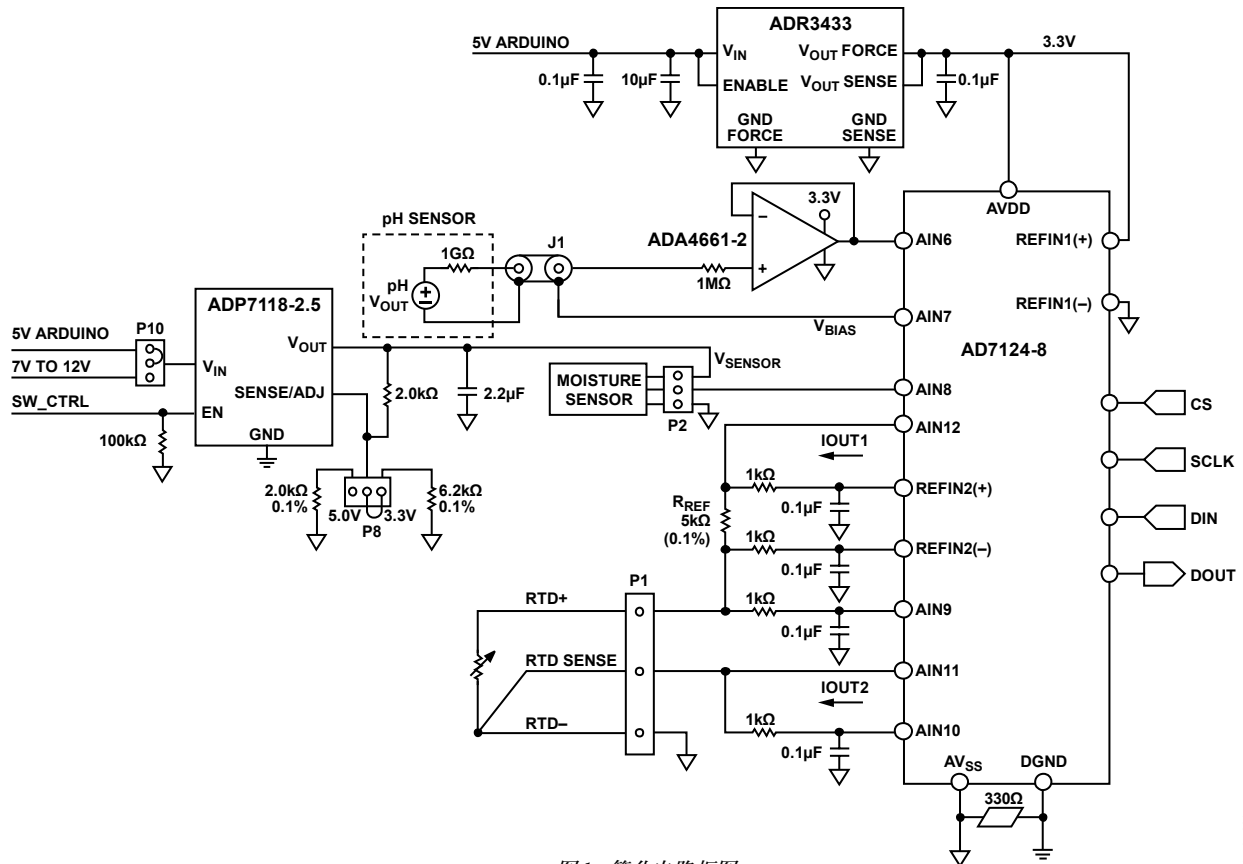


图1. 简化电路框图

14494-001

电路描述

系统分为三个独立测量前端：pH 值、土壤湿度和温度。在信号调理之后，三个通道共用一个 24 位 Σ - Δ 型模数转换器 (ADC) AD7124-8。AD7124-8 是一款适合高精度测量应用的低功耗、低噪声、全集成式模拟前端。该器件内置一个低噪声 24 位 Σ - Δ 型 ADC，可配置为提供 8 个差分输入或 15 个单端或伪差分输入。片内增益级确保 ADC 中可直接输入小信号。

当 ADC 配置为双极性编码工作模式时，任意模拟输入电压的输出码可以表示为：

$$\text{输出码} = 2^{N-1} \times [(A_{IN} \times \text{Gain}/V_{REF}) + 1]$$

其中：

$N = 24$ 。

A_{IN} 为模拟输入电压。

Gain 为增益设置 (1 至 128)。

V_{REF} 为连接在 AD7124-8 的 REFIN(+) 和 REFIN(-) 之间的外部基准电压。

AD7124-8 使用 ADR3433，后者是一款低成本、低功耗、高精度 CMOS 基准电压源，具有 $\pm 0.1\%$ 的初始精度、低工作电流和低输出噪声等特性。ADR3433 为 AD7124-8 提供 3.3 V 基准电压和 AVDD 电源。ADR3433 最多可提供 10 mA 的源电流。

土壤 pH 值测量

电路利用 ADA4661-2 精密运算放大器缓冲高阻抗 pH 值探针输出并驱动 ADC。ADA4661-2 是一款双通道、精密、轨到轨输入/输出放大器，针对低功耗、高带宽和宽工作电源电压范围应用进行了优化。为使流经高输出阻抗 (约 1 G Ω) pH 传感器的偏置电流引起的失调误差最小，典型输入偏置电流为 0.15 pA。ADA4661-2 的失调电压仅有 150 μ V。

土壤特性由多个参数决定。土壤质地由沙、泥、粘土等矿物颗粒决定。土壤还包含有机物质 (活物和死物)、空气和水。溶解的化学物质导致土壤中的水变为酸性或碱性。土壤的酸度和碱度用 pH 值来衡量。pH 值范围是 0 (最高酸度) 到 14 (最高碱度)，pH 值 7 表示中性。

对于大多数农作物，最适宜的土壤 pH 值是 5.2 到 8.0。所有植物都会受极端 pH 值影响，但它们对酸度和碱度的耐受程度有很大不同。有些植物能在宽范围的 pH 值下生长良好，但也有些植物对酸度或碱度的细小变化非常敏感。

可使用组合 pH 电极来测量 pH 值。它由一个参考电极和一个环绕其周围的同心玻璃电极组成。pH 电极产生一个对应于土壤 pH 值的小直流电压。对测得的 pH 值进行评估，确定其是否在特定作物生长所需的 pH 值范围内。然后利用

该方法，通过提升 pH 值（增加钙等酸性中和剂）来校正土壤酸度，或通过降低 pH 值（如增加硫）来降低碱度。

pH 传感器输出是双极性信号，25°C 时最大值为±414 mV。[AD7124-8](#) 采用单电源工作，因此 pH 探针应偏置到地以上，使其处于 [AD7124-8](#) 的可接受共模范围之内。[AD7124-8](#) 的集成特性之一是其内部偏置电压发生器，它将一个通道的共模电压设置为 AVDD/2 或 1.65 V。这个来自 ADC 的偏置电压被施加于 pH 探针屏蔽层，并将传感器输出设置为 1.65 V ±414 mV（25°C 时）。

两点pH值校准

由于电极涂层和老化原因，pH 电极的特性会随时间而变化，因此需要校准程序来获得最高精度。

校准通过测量两种缓冲溶液的 pH 值来完成，各缓冲溶液的 pH 值已知。软件包括不同 pH 值缓冲溶液的 NIST 查找表，以及 0°C 至 95°C 温度校正的 pH 值。溶液温度利用 RTD 测得。

使用以下线性等式：

$$y = mx + b \quad (1)$$

确定 pH 传感器传递函数的实际斜率，测量实际失调电压。

为了计算斜率，需求解以下等式：

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

其中：

y_1 为第一点的测量电压。

y_2 为第二点的测量电压。

x_1 为第一点的已知 pH 值。

x_2 为第二点的已知 pH 值。

进行上述测量并将一个校准点带入等式 2，根据以下最终等式确定未知 pH 值：

$$x = \frac{(y - y_1) + mx_1 - b}{m} \quad (3)$$

其中：

x 为未知土壤 pH 值。

y 为测量电压。

b 为测量失调电压。

m 为斜率。

对于未执行校准的直接测量，未知土壤 pH 值可通过求解以下 Nernst 方程确定：

$$E = \alpha - \frac{2.303R(T + 273.1)}{nF} \times (pH - pH_{ISO}) \quad (4)$$

其中：

E 为未知土壤 pH 值的测量电极电压。

α 为测量失调电压。

T 为测量温度（单位为°C）。

$n = 1$ （25°C 时），化合价（离子上的电荷数）。

$F = 96,485$ 库仑/摩尔，法拉第常数。

$R = 8.314$ 伏特·库仑/K 摩尔，阿伏加德罗氏数。

pH 为未知溶液的氢离子浓度。

$pH_{ISO} = 7$ ，参比氢离子浓度。

土壤湿度测量

影响农作物生长和产量的一个重要因素是土壤水含量。因此，土壤湿度测量对农业灌溉系统中的水保护十分重要。当今业界使用的常见土壤湿度传感器大多是容性传感器。容性传感器测量土壤的水含量，土壤总量中的水量会影响介电常数。水的相对介电常数 $\epsilon_r = 80$ ，远大于土壤中其他元素的相对介电常数，如矿物质 ($\epsilon_r = 4$)、有机物质 ($\epsilon_r = 4$) 和空气 ($\epsilon_r = 1$) 等。土壤中水含量的变化会引起介电常数变化，进而导致电容改变。

湿度传感器将测得的探针间电容转换为直流电压，该直流电压直接接入 ADC 以转换为对应的体积含水量 (VWC)。

[CN-0398](#) 湿度传感器电路接受输出电压范围为 0 V 至 3 V 的三线湿度传感器（电源、地和电压输出）的输出。湿度传感器（如 Decagon Devices EC-5）需要 PWM 激励脉冲，因而传感器大部分时间是关闭的。通过 PWM 脉冲，利用 [ADP7118-2.5](#) LDO 使能引脚（SW_CTRL 标签）开启和关闭传感器电源。

[ADP7118-2.5](#) 是一款 CMOS、低压差 (LDO) 线性稳压器，采用 2.7 V 至 20 V 电源供电，最大输出电流为 200 mA。[ADP7118-2.5](#) 的输入可通过跳线 P10 选择，选项有 5 V 或 7 V 至 12 V，来自 Arduino 兼容平台板。[ADP7118-2.5](#) 的输出也可通过跳线 P8 选择，选项有 3.3 V 或 5 V。

用 PWM 信号开启和关闭传感器电源时，必须等到传感器的稳定时间过去之后才能对输出进行采样。Decagon EC-5 传感器需要 10 ms，Vegetronix VH400 需要 400 ms。

电压至VWC转换

该电路利用 Decagon Devices EC-5 湿度传感器来评估,其已经过出厂校准,转换函数如下:

$$VWC = (0.000992 \times mV - 0.45) \times 100 \quad (5)$$

其中:

VWC 为土壤的体积含水量,用百分比表示。

mV 为传感器输出,单位为 mV。

Vegetronix VH400 湿度传感器的转换函数是分段线性近似式,如表 1 所示。

表 1. VegetronixVH400 湿度传感器的分段线性传递函数

电压范围	公式 (V = 传感器输出, 单位为伏)
0V至1.1V	VWC = 10 × V - 1
1.1V至1.3V	VWC = 25 × V - 17.5
1.3V至1.82V	VWC = 48.08 × V - 47.5
1.82V至2.2V	VWC = 26.32 × V - 7.89

温度测量

图 2 所示温度测量电路是一个基于 24 位 Σ-Δ 型 ADC AD7124-8 的 3 线式 Pt100 电阻温度检测器(RTD)系统。pH 值测量的温度效应可利用 RTD 温度来补偿。AD7124-8 具有一个 50 μA 至 1 mA 的可编程低漂移激励电流源。ADC 通道 AIN11 和 AIN12 针对 500 μA 激励电流进行编程。IOUT1 (AIN11)流过 5.11 kΩ 参考电阻和 RTD。由于同一电流流经 RTD 和参考电阻,因此测量是比例式的,激励电流变化引起的任何误差都会被消除。IOUT2 (AIN12)流入 RTD RL2 引线电阻,产生一个电压,其抵消 RL1 引线电阻上的压降。

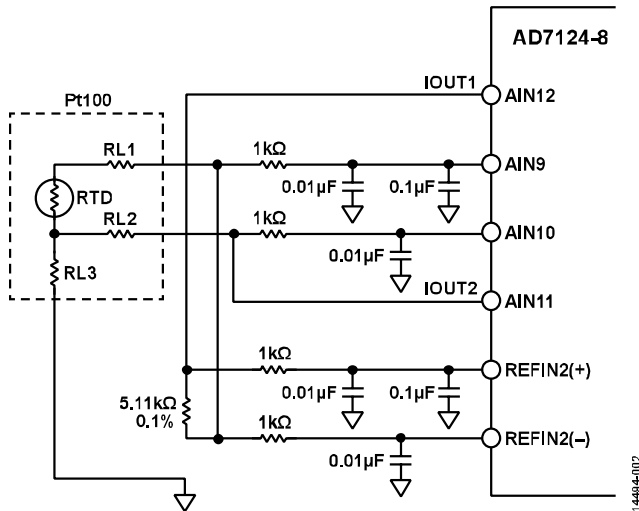


图 2. 基于 RTD 的温度测量电路

pH 值测量通常需要温度补偿,因为温度对 pH 探针的灵敏度有重大影响。pH 探针在 25°C 时的理想输出为 59.154 mV/pH, 但会随着被测样本的实际温度而变化。

用于冷结的 4 线 RTD 需要自行线性化。当 ADC 在双极性模式工作时,计算 RTD 电阻(R)的通用表达式如下所示:

$$R_{RTD} = \frac{(CODE - 2^{N-1}) \times R_{REF}}{G \times 2^{N-1}} \quad (6)$$

其中:

R_{RTD} 为 RTD 电阻。

CODE 为 ADC 码。

N 为 ADC 分辨率(24)。

R_{REF} 为参考电阻。

G 为所选增益(16)。

将 RTD 电阻转换为温度所涉及到的步骤以及线性化过程参见电路笔记 CN-0381。

预测pH通道的系统噪声性能

输出数据速率为 25 SPS 且增益为 1 时,AD7124-8 在满功率模式下的 rms 噪声为 570 nV (噪声折合到输入端,来自 AD7124-8 数据手册)。此时峰峰值噪声可用下式求得:

$$\text{峰峰值噪声} = 6.6 \times \text{rms 噪声} = 6.6 \times 570 \text{ nV} = 3.76 \mu\text{V}$$

通过和方根(rss)方式加上 ADA4661-2 贡献的噪声(3 μV p-p),预测总系统噪声为 4.818 μV p-p。

如果 pH 计的灵敏度为 59 mV/pH,则 pH 计能测量的无噪声分辨率 pH 水平为

$$4.818 \mu\text{V} / (59 \text{ mV/pH}) = 0.0000816 \text{ pH}$$

满量程 ADC 输入范围为 6.6 V,因此,预测峰峰值分辨率为

$$\text{无噪声码分辨率} = \log_2 \left(\frac{6.6 \text{ V}}{4.818 \mu\text{V}} \right) = 20.38 \text{ 位}$$

预测湿度通道和温度通道的系统噪声性能

湿度传感器和 RTD 直接连到 ADC 输入,因此,短路输入无噪声码分辨率主要取决于 AD7124-8 噪声,其为 570 nV rms,相当于 3.76 μV p-p。这样,无噪声码分辨率计算如下:

$$\text{无噪声码分辨率} = \log_2 \left(\frac{6.6 \text{ V}}{3.76 \mu\text{V}} \right) = 20.75 \text{ 位}$$

实际系统噪声性能

对于 pH 值测量,实际系统峰峰值噪声和分辨率的确定方法是短接输入 pH 探针 BNC 连接器,并采集 1000 个样本。如图 3 中的直方图所示,系统峰峰值分辨率为 18.2 位,而预测值为 20.38 位。测量在满功率模式下进行,采样速率为 25 SPS,使用后置滤波器。

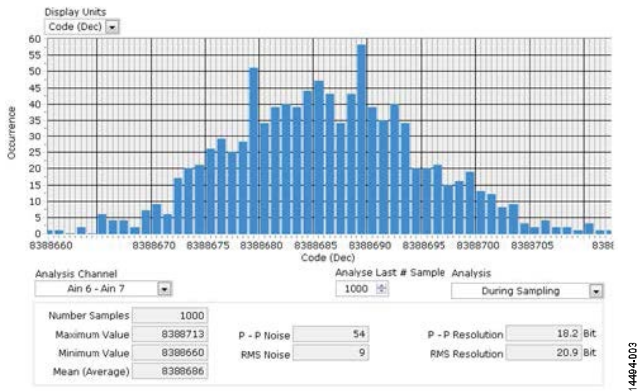


图 3. pH 通道的短路输入直方图

对于湿度测量，实际系统峰峰值噪声和分辨率的确定方法是短接湿度传感器连接器的输入，并采集 1000 个样本。如图 4 中的直方图所示，系统无噪声码分辨率为 21.2 位。测量在满功率模式下进行，采样速率为 25 SPS，使用后置滤波器。

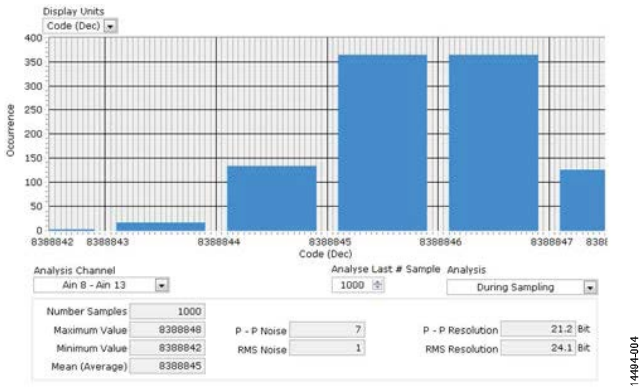


图 4. 湿度传感器通道的短路输入直方图

土壤湿度测试可重复性测量

表 2 和表 3 显示了探测某多沙土壤同一样本的湿度传感器数据输出。评估期间使用了 Decagon EC-5 和 Vegetronix VH400 湿度传感器。用各传感器探测土壤 7 次，然后计算平均值。结果显示 VWC 测量的可重复性好于 1%。

表 2. Decagon EC-5 湿度传感器输出和 VWC

测试	输出(mV)	VWC (%)
1	544.70	9.03
2	542.10	8.78
3	546.57	9.22
4	537.74	8.34
5	546.74	9.24
6	542.89	8.85
7	552.70	9.83
平均值	544.78	9.04

表 3. Vegetronix VH400 湿度传感器输出和 VWC

测试	输出(V)	VWC (%)
1	1.04	9.39
2	0.93	8.28
3	1.01	9.07
4	1.04	9.42
5	1.03	9.30
6	0.99	8.86
7	1.06	9.63
平均值	1.01	9.14

确定土壤水分含量

VWC 定义为单位体积土壤中水的体积：

$$\theta = V_w/V_T$$

其中：

θ 为体积含水量(cm^3/cm^3)。

V_w 为水的体积(cm^3)。

V_T 为土壤样本总体积(cm^3)。

要独立于电子测量确定土壤样本的 VWC，可使用下述方法。先准备好一个烧杯和一台天平。

1. 获得一份土壤样本
2. 称量无土壤的烧杯
3. 将已知体积的湿润土壤放入烧杯中
4. 称量含湿润土壤的烧杯（克）
5. 利用烤箱在 110°C 下烘烤土壤 24 小时
6. 称量干燥土壤（克）

从土壤中除去的水的质量为：

$$m_w = m_{WET} - m_{DRY}$$

其中：

m_w 为土壤中水的质量。

m_{WET} 为湿润土壤的质量。

m_{DRY} 为干燥土壤的质量。

水的密度为 1 g/cm^3 ，因此水的质量在数值上等于其体积。该值用于确定 VWC。

Decagon Devices 应用笔记“校准 ECH2O 土壤湿度传感器”中详细说明了此程序。

表 4 显示的是将已知体积的水加入之前已在烤箱中烘干的多沙土壤样本后计算的 VWC。

使用 Decagon EC-5 和 Vegetronix VH400 传感器来测量五种水浓度水平下的 VWC。使用厂家推荐公式将各传感器的电压输出转换为表中所示的 VWC。

图 5 显示了 EC-5 湿度传感器的 VWC 响应（表 5），与之对比的是基于实际水体积计算得到的值（表 4）。请注意，最差情况误差约为 3%。

表 4. 使用已知体积的土壤和水的 VWC 计算值

干燥土壤体积(cm ³)	水体积(cm ³)	VWC计算值(%)
187.136	18.672	9.98
187.136	31.531	16.85
187.136	46.789	25.00
187.136	58.8	31.99
187.136	71.089	37.99

表 5. 使用 Decagon EC-5 传感器测得的 VWC 值

干燥土壤体积 (cm ³)	水体积(cm ³)	传感器输出 (mV)	输出转换为 VWC (%)
187.136	18.672	584	9.3616
187.136	31.531	593	13.8256
187.136	46.789	677	22.1584
187.136	58.8	779	32.2768
187.136	71.089	849	39.2208

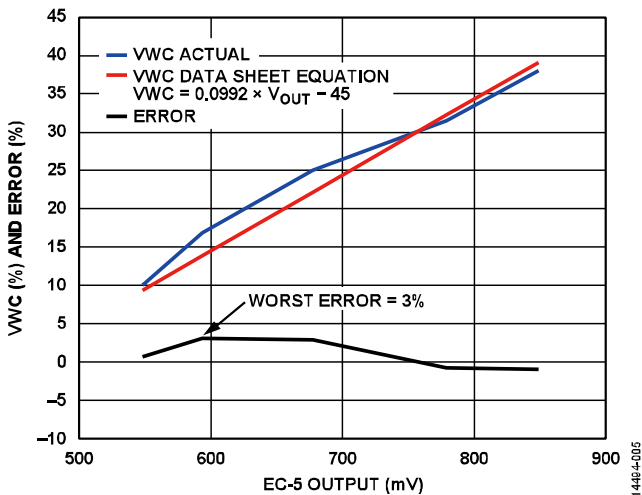


图 5. 实际 VWC 与 Decagon EC-5 传感器测得的 VWC (利用数据手册给出的公式)

针对土壤情况进行校准可提高湿度传感器精度。不同传感器通常都会利用特定土壤进行校准，但由于土壤容重、矿物质、质地和盐度的不同，精度可能会有变化。

传感器数据手册一般会给出用于将传感器输出转换为 VWC 的推荐公式。然而，如果从实际被测土壤获得多个 VWC 数据点，并生成一个更能准确拟合这些数据点的转换公式，有时候是可以提高精度的。对于特定传感器，根据实际 VWC 测量结果得出特定土壤的公式之前，应利用传感器数据手册中的推荐公式计算误差。在选定土壤要求的范围内，如果误差为 2%或更小，则不必要产生一个土壤特定的公式。如果误差大于几个百分点，则基于最小二乘法拟合直线的土壤特定公式可以降低误差。某些情况下，可能需要一个多项式函数来获得所需的精度，具体取决于特定传感器的传递函数。

对于 Decagon EC-5 传感器，图 6 所示土壤特定直线拟合(使用最小二乘法)给出了很好的结果，最大误差从 3%降至 1.8%。

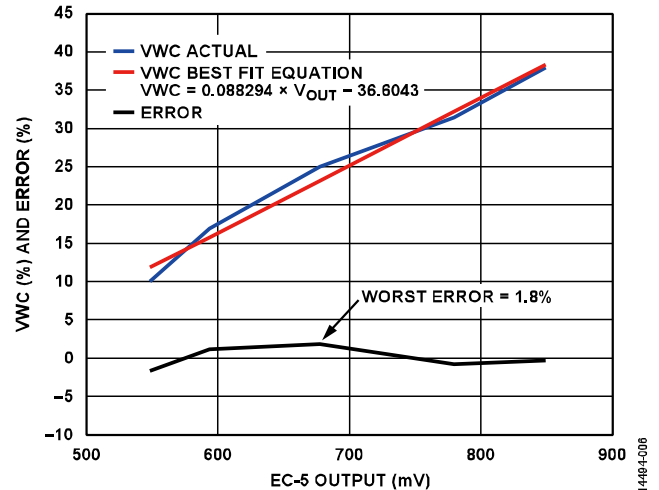


图 6. 实际 VWC 与 Decagon EC-5 传感器测得的 VWC (利用特定土壤的最佳拟合公式)

表 6 显示了使用 Vegetronix VH400 湿度传感器测得的 VWC。表 6 和表 4 中的数据绘制在图 7 上。

表 6. 使用 Vegetronix VH400 传感器测得的 VWC 值

干燥土壤体积 (cm ³)	水体积 (cm ³)	传感器输出 (mV)	输出转换为 VWC (%)
187.136	18.672	1.046	9.46
187.136	31.531	1.362	16.55
187.136	46.789	1.474	23.36992
187.136	58.8	1.637	32.93784
187.136	71.089	1.73	35.6784

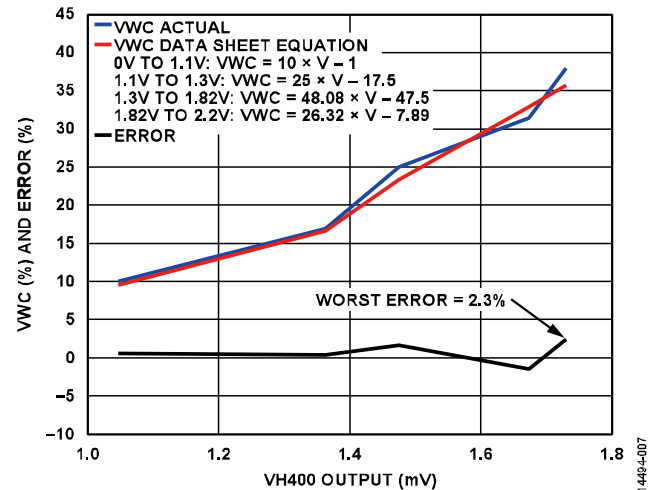


图 7. 实际 VWC 与 Vegetronix VH400 传感器测得的 VWC (利用数据手册给出的公式)

图 7 表明，使用数据手册所示公式得到的误差仅有 2.3%；因此，使用 VH400 传感器测量该被测土壤无需土壤特定的公式。

如需获得包括原理图、布局布线和物料清单在内的 EVAL-CN0398-ARDZ 评估板完整文档，请参阅 CN-0398 设计支持包(www.analog.com/CN0398-DesignSupport)。

常见变化

适合此电路的其他 ADC 有 [AD7794](#) 和 [AD7795](#)。这两款器件具有与 [AD7124-8](#) 相同的特性组合。但 [AD7794](#) 为 6 通道 24 位 ADC，而 [AD7795](#) 为 6 通道 16 位 ADC。

[AD8615](#) 缓冲放大器采用 5 引脚 TSOT 封装。它是一款精密 20 MHz CMOS 轨到轨输入/输出运算放大器，典型输入偏置电流为 0.2 pA，失调电压低至 80 μV（典型值）。

超低噪声、高精度基准电压源 [ADR4533](#) 也可用来提供 3.3 V 基准电压。

[ADP7112](#) 是一款 CMOS LDO 线性稳压器，基本特性与 [ADP7118](#) 相同，但采用 WLCSP 封装。

电路评估与测试

本电路使用 [EVAL-CN0398-ARDZ](#) 扩展电路板、可选外部电源、带串口终端程序的 PC，以及 [EVAL-ADICUP360](#) Arduino 兼容平台板。平台板用户指南参见产品页面：www.analog.com/EVAL-ADICUP360。关于 [EVAL-CN0398-ARDZ](#) 评估板用户指南和软件，请访问：www.analog.com/CN0398-UserGuide。

设备要求

需要以下设备：

- [EVAL-CN0398-ARDZ](#) 电路板。
- [EVAL-ADICUP360](#) Arduino 兼容平台并加载 [CN-0398](#) 固件。
- 带 USB 端口的 PC 以及 64 位 Linux 发布版操作系统，内核版本 v4.2.0-amd 64 或更高，带终端程序。
- 7 V 至 12 V/1 A 直流电源，或 7 V 至 12 V/1 A 等效台式电源（使用 5 V 湿度传感器时才需要）。
- 土壤
- 烧杯
- 烤箱
- 天平
- VH400 湿度传感器
- EC-5 湿度传感器

测试设置功能框图

图 8 所示为测试设置的功能框图。

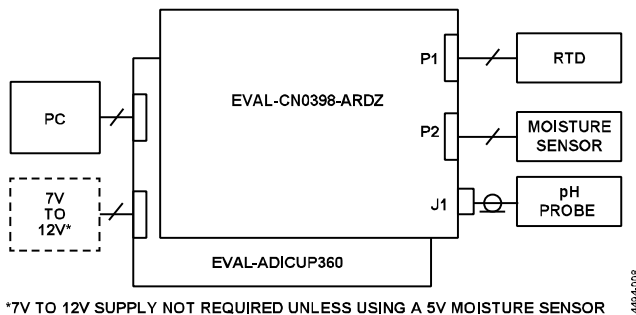


图 8. 测试设置功能框图

设置

采用以下步骤评估电路：

1. 将 [EVAL-CN0398-ARDZ](#) 扩展板插入 [EVAL-ADICUP360](#) 平台板。
2. 将传感器连接到 [EVAL-CN0398-ARDZ](#) 板。
3. 按照 [EVAL-ADICUP360](#) 用户指南中的说明，将 [EVAL-ADICUP360](#) 虚拟 COM USB 端口连接到 PC。
4. 如果使用 5 V 湿度传感器，请利用 7 V 至 12 V/1 A 直流电源为 [EVAL-ADICUP360](#) 供电。否则，[EVAL-ADICUP360](#) 可以直接由 USB 端口供电。
5. 使用 115,200 Hz 波特率和正确的虚拟 COM 端口设置终端软件。
6. 如果系统的波特率设置不正确，则按下 [EVAL-ADICUP360](#) 板上的 RESET 按钮设置默认值。
7. 运行软件，软件连续显示传感器的 pH 值、温度和含水量输出。

欲了解硬件和软件运行详情，请参阅 [CN-0398 用户指南](#) (www.analog.com/CN0398-UserGuide)。CN-0398 用户指南还详细说明了如何修改软件并利用线性或多项式方程来支持针对特定土壤的校准。

图 9 为 [EVAL-CN0398-ARDZ](#) Arduino 扩展板的照片。



图 9. EVAL-CN0398-ARDZ 扩展板

图 10 为使用 EC-5 湿度传感器的湿度测量设置实例的照片。

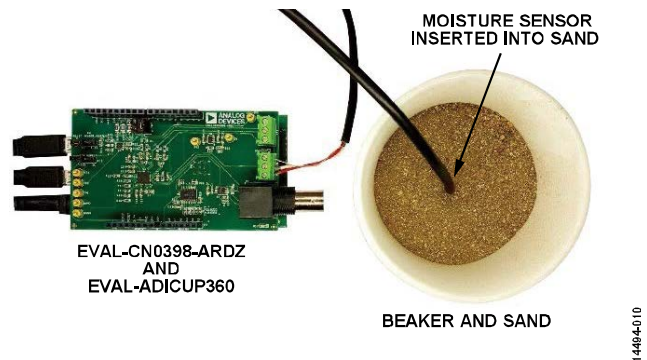


图 10. EC-5 传感器对多沙土壤的湿度测量

了解详情

CN-0398 设计支持包: www.analog.com/CN0398-DesignSupport

ADICUP360 用户指南

电路笔记 CN-0326。带有温度补偿功能的隔离式低功耗 pH 监测仪。ADI 公司。

电路笔记 CN-0383。采用低功耗、精密、24 位 Σ - Δ 型 ADC 的全集成式 3 线 RTD 测量系统。ADI 公司。

Decagon EC-5 土壤湿度传感器。Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163.

应用笔记。校准 ECH2O 土壤湿度传感器。Decagon Devices.

Vegetronix VH400 土壤湿度传感器。Vegetronix, Inc. PO Box 583, Riverton, UT 84065.

数据手册和评估板

CN-0398 电路评估板(EVAL-CN0398-ARDZ)

Arduino 兼容平台板(EVAL-ADICUP360)

AD7124-8 数据手册

ADA4661-2 数据手册

ADP2118-2.5 数据手册

ADR3433 数据手册

修订历史

2016年10月—修订版0: 初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs 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 reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.