

土壌の水分とpHの測定回路、 温度補償も含めてシンプルに実現

著者: Thomas Brand
 Analog Devices, Inc.

本稿では、土壌の水分とpHの測定を可能にする回路を紹介し
 ます。この種の測定は、植物を効率的に成長させたいとい
 ったケースに役立ちます。

図1に示したのが、土壌の水分とpHを測定するための回路で
 す。単電源/低消費電力で動作し、温度補償機能も備える高
 精度かつ完全なソリューションとなっています。この回路に
 は、それぞれに種類の異なるアナログ・センサーを備える
 3つの独立した測定部が存在します。各センサーによって
 測定した信号は、A/Dコンバータ(ADC)に入力されてデジ
 タル・データに変換されます。生成されたデータは、信号
 処理を行うためにマイクロコントローラに送られます。こ
 のような一連の処理に適したADCとしては、アナログ・
 デバイズの「AD7124」が挙げられます。このICは、ΣΔ
 (シグマ・デルタ)方式を採用しており、分解能は24
 ビットです。高精度の測定アプリケーションに適した低
 ノイズの製品であり、集積度の高い完全なアナログ・
 フロント・エンドとして機能します。入力形式は、差
 動入力またはシングルエンド/擬似差動入力に構成でき
 ます。プログラマブルなアンプ段を備えており、小振幅
 の信号に対するインターフェースを同IC自身で実現する
 ことが可能です。

pHの測定方法

通常、pHセンサーは出力インピーダンスが高く(約1GΩ)
 、ADCの入力部を駆動することはできません。そこで、
 pHセンサーの出力をバッファリングするための高精度の
 オペアンプが必要になります。pHセンサーの出力イン
 ピーダンスが高いことから、オフセット誤差を最小限に
 抑えられるよう、入力バイアス電流が少ないオペア
 ンプを選択することが重要なポイントになります。図1
 の回路では、このバッファ用オペアンプとして、レール
 toレール入出力の「ADA4661-2」を採用しました。pH
 センサーはバイポーラ出力で、最大±414mVの信号
 を出力します。AD7124では、内蔵するオフセット・
 ジェネレータを使って、入力のコモンモード電圧を
 AVDD/2に設定することができます。それにより、
 pHセンサーの出力をAVDD/2±414mVの信号として
 受け取ります。

AD7124のノイズ性能は、測定システムの分解能に影
 響を及ぼします。AD7124を全電源モード、ゲインは
 1、出力データ・レートは25SPSという条件で動作
 させたとします。その場合の実効ノイズ $V_{NOISE, EFF}$
 は570nVです。ノイズのピークtoピーク値 $V_{NOISE, PP}$
 は、 $3.76\mu V (6.6 \times V_{NOISE, EFF})$ になります。これ
 に、ADA4661-2のノイズ成分 $V_{NOISE, PP}$ である
 $3\mu V$ が加わり、トータルのノイズ $V_{NOISE, PP, TOTAL}$
 は $4.8\mu V$ になります。ADCの最大入力電圧が
 6.6Vなので、ノイズフリー分解能は次式のよう
 になります。

$$20 \times \log_2 \left(\frac{6.6 V}{4.8 \mu V} \right) = 20.4 \text{ Bit}$$

土壌の水分の測定方法

多くの場合、土壌の水分の測定には、容量式の
 センサーが使用されます。比誘電率を利用して水分
 量を測定するというものです。水の比誘電率は、
 土壌内の他の成分の比誘電率と比べてかなり高
 いという特徴があります。そこで、センサーは容
 量値の変化によって、水分量の変化を検出しま
 す。図1の回路では、3線式(電源、グラウンド、
 電圧出力)のセンサーを使用しています。消費電
 力を最小化するために、センサーはほとんどの
 時間はスリープの状態になります。測定が必要
 なときだけ、 V_{SENSOR} によって起動されます。

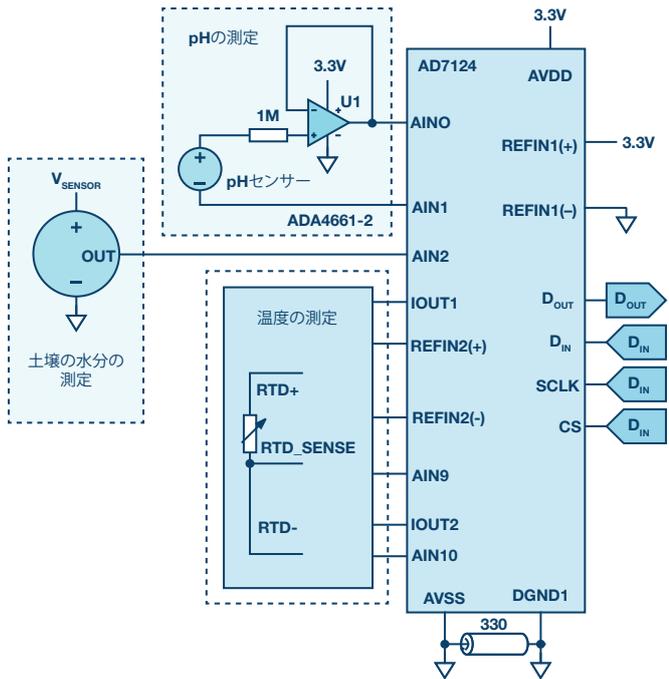


図1. 土壌の水分とpHを測定するための回路。
 温度測定機能も含めてシンプルに構成されています。

このセンサーは、ADCに直接接続されています。そのため、ノイズフリー分解能は、pHの測定回路と比べて若干高くなります（以下参照）。

$$20 \times \log_2 \left(\frac{6.6 \text{ V}}{3.76 \mu\text{V}} \right) = 20.75 \text{ Bit}$$

温度の測定

pHセンサーの振る舞いは、電極のコーティングと経年変化に依存して、時間と共に変化します。そのため、システムとして最大限の精度を維持するには、定期的なキャリブレーションが不可欠となります。一般的なキャリブレーション手法としては、既知の液体のpH値を測定し、NIST参照表に記載されている同じ温度条件のpH値と比較するということが行われます。この一連の処理は、ソフトウェアをベースとして実現されます。温度の測定は、図2に示すような3線式のRTD（測温抵抗体）を使って行います。AD7124は、プログラマブルな励起電流源を備えており、IOUT1ピンとIOUT2ピンにRTDを直接接続することができます。

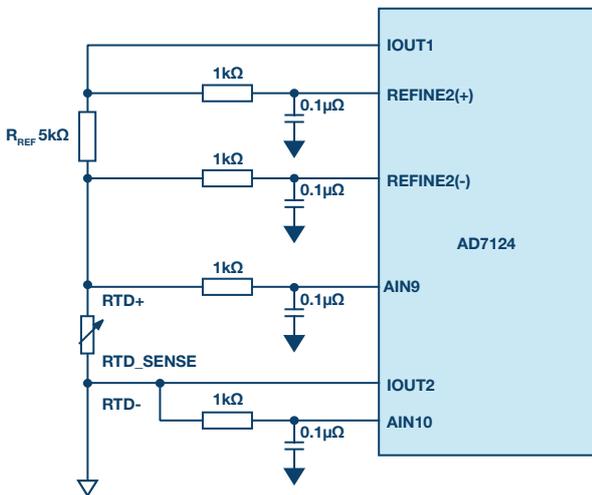


図2. RTDを使用した温度測定用の回路

まとめ

本稿で紹介した回路を使えば、土壌の水分とpHを比較的容易に測定することができます。pHセンサーの性能は、温度に大きく依存するので、温度測定機能をベースとした補償機構が必要になります。

著者について

Thomas Brand (thomas.brand@analog.com) は、2015年10月に修士課程の一環としてアナログ・デバイセズのミュンヘン支社でキャリアをスタートさせました。2016年5月から2017年1月まで、アナログ・デバイセズで、フィールド・アプリケーション・エンジニアを目指す人のための研修プログラムに参加。2017年2月にフィールド・アプリケーション・エンジニアとなり、主に産業分野の大口顧客を担当してきました。産業用イーサネットが専門であり、中欧における関連事業のサポートにも関わっています。ドイツのモースバッハにあるUniversity of Cooperative Education (UCE) で電気工学を専攻した後、ドイツのコンスタンツ応用科学大学 大学院で国際営業を学び、修士号を取得しました。

オンライン・サポート・コミュニティ



アナログ・デバイセズのオンライン・サポート・コミュニティに参加すれば、各種の分野を専門とする技術者との連携を図ることができます。難易度の高い設計上の問題について問い合わせを行ったり、FAQを参照したり、ディスカッションに参加したりすることが可能です。

ez.analog.com にアクセス

* 英語版技術記事は [こちら](#) よりご覧いただけます。

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 〒105-6891 東京都港区海岸1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル10F
大阪営業所 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原3-5-36 新大阪トラストタワー10F
名古屋営業所 〒451-6040 愛知県名古屋市中区牛島町6-1 名古屋ルーセントタワー38F

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
本誌記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
Ahead of What's Possible はアナログ・デバイセズの商標です。

TA21217-6/19

www.analog.com/jp



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™