

温度補償付きの絶縁型pHモニタ

著者: Thomas Tzscheetzsch

アナログ・デバイスズ、スタッフ・フィールド・アプリケーション・エンジニア

はじめに

多くの産業分野では、液体の pH 値を把握することが重要になります。液体を扱うあらゆる産業分野では、pH を測定するシステムがほぼ不可欠です。例えば、廃水システムや廃水プラントにとって、そうしたシステムが重要であることは言うまでもありません。それ以外にも、醸造所からの排水は、下水システムに到達する前に、特定の pH 値に収まっている必要があります。本稿では、水処理するシステムに、絶縁を施した高精度の pH 測定機能を組み込む手段を紹介します。

本稿では、まず、システムに高精度の絶縁機能を適用する方法について考察します。絶縁は、システムから離れたところにある水の pH 値や異なるグラウンド・レベルをモニタリングしたり、障害の発生時にシステムを高い電圧から保護したりする上で重要な役割を果たします。

pH 値とは、水溶液の酸性またはアルカリ性（塩基）の度合いを表す指標です。単位のない数値であり、水素イオンの活量を用いた次式によって定義されます。

$$pH = -\log_{10} a(H^+) \quad (1)$$

純水の pH 値は、7 と定義されています。pH が 7 未満であれば酸性、7 以上であればアルカリ性です。pH の測定には、その値によって色が変わる指示薬がよく使われています。しかし、この測定方法では、大まかな値しか把握できません。図1に示す回路は、ガラス電極の評価を目的としたものです。精度は、0～14 の範囲の pH 値に対して 0.5% です。また、温度補償も適用されています。この回路は、1MΩ～数GΩ という高いインピーダンスを持つ多様な pH センサーに対応しています。

pH測定用の電極

pH 用のプローブは、バッテリーと同様に、測定用の電極とリファレンス用の電極で構成されます。測定の対象となる溶液にプローブが浸されているとき、測定用の電極は、水素イオンの活量に応じた電圧を生成します。出力の代表値としては、25℃において単位 pH 当たり 59.14mV となります。この値は、温度によって 70mV/pH まで上昇します。この電圧をリファレンス用の電極の電圧と比較します。溶液が酸性（pH の値が低い）であれば、プローブの出力電位は、0V より高くなります。一方、アルカリ性であれば、0V よりも低くなります。この出力値は、次式によって求められます。

$$E_R = E_0 - \frac{2.303 RT}{nF} (pH - pH_{REF}) \quad (2)$$

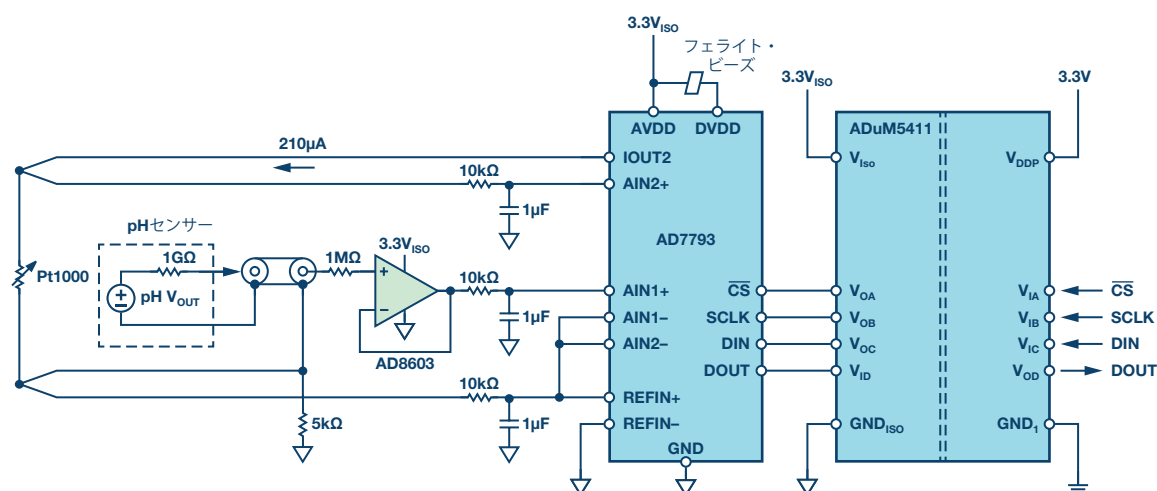


図1. 一体型の電極を備えたpHセンサー回路（簡略化してあります）

各変数／定数の意味は以下のとおりです。

E：プローブの出力電圧

E_0 ：電極の標準電位（通常は0V）。プローブによって異なります。

R：気体定数 $R = 8.31447 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T：温度。単位はケルビン。

n：移動電子数（または同等の数）

F：ファラデー定数 $F = 96485.34 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

pH：測定の対象となる溶液の水素イオン濃度

pH_{REF} ：リファレンス用の電極の基準値。値は7です。

測定用の回路

図1の回路の主な構成要素は、プローブ用のバッファ、A/Dコンバータ（ADC）、電圧伝送機能を備えるアイソレータです。バッファとして使用しているオペアンプIC「[AD8603](#)」は、低消費電力、低ノイズで、入力バイアス電流が極めて少ないことから選択しました。入力バイアス電流の代表値は200fAであり、プローブの内部抵抗を流れる電流によって生じる電圧降下を最小限に抑えることができます。もう1つの重要なコンポーネントはADCです。この例では、分解能が24ビットのシグマ・デルタ（ $\Sigma \Delta$ ）型ADC「[AD7793](#)」を選択しました。同ICは、電源とプログラマブル・アンプを内蔵している点を1つの特徴とします。内蔵する電流源は、Pt1000に流れる電流を生成します。これにより温度を測定し、プロセッサで補償を実施します。同じ電流が5k Ω の抵抗（許容誤差0.1%）にも流れ、それによって1.05Vのリファレンス電圧が生成されます。2次的な機能として、この抵抗は、コモンモード電圧を上昇させます。このコモンモード電圧とリファレンス電圧の値を適切に選択することによって、ADCの全入力範囲を利用することが可能になります。プローブの出力は $\pm 414 \text{ mV}$ 、最大出力は $\pm 490 \text{ mV}$ です。アイソレータとしては、絶縁型のDC/DCコンバータ「[ADuM5411](#)」を使用しています。同ICは、ADCのSPI用の絶縁機能も提供します。

回路の特性

上記のとおり、高い精度を実現するために、入力バイアス電流の代表値が200fAのオペアンプを選択しました。プローブのインピーダンスが1G Ω の場合、電圧オフセットの最大値は0.2mVになります。これをpH値に換算すると、25℃において0.0037の誤差に相当します。入力バイアス電流が最大値である1pAの場合でも、最大オフセット誤差は、1mVと非常に小さく抑えられます。このような望ましい条件を活かすためには、ガード・リングやシールドリングのほか、微小電流の影響を回避する方法などを適用し、プリント回路基板のレイアウトを適切に実施することが肝要です。データ・レートを16.7Hz、ゲインを1にした場合、ADCによって生成されるノイズは約2 $\mu \text{V}_{\text{rms}}$ になります。ピークtoピークのノイズである13 μV を使って計算すると、pH値の精度は0.00022になります。オペアンプからのノイズとADCからのノイズを合わせると、pH換算で0.00053という更に大きなオフセット誤差が生じます。

まとめ

本稿で示したのは、pHセンサーで取得した値を読み取るためのシンプルかつ非常に高精度で低消費電力の回路です。回路のキャリブレーションを実施した後は、pH値換算で0.005という0.5%の精度を実現できます。絶縁を施しているため、多くのアプリケーションに適用することが可能です。

著者について

Thomas Tzscheetzsch (thomas.tzscheetzsch@analog.com) は、2010年にアナログ・デバイセズに入社しました。現在は、シニア・フィールド・アプリケーション・エンジニア（シニアFAE）として業務に従事しています。2010～2012年はドイツ中部地区の顧客を担当していましたが、それ以降は、より小規模な顧客層を対象とするキー・アカウント・チームに所属しています。2017年の組織再編後は、FAEマネージャとして、CE諸国のIHCクラスタにおいてFAEチームを統括しています。

1992～1998年には、エレクトロニクスを専門とする技術者として、ある機械メーカーの部門長を務めていました。ゲッティンゲン応用科学大学で電気工学について学んだ後、マックス・プランク研究所のハードウェア設計技術者としてソーラー・システムの研究に従事しました。2004～2010年には、流通分野のFAEとしてアナログ・デバイセズの製品を扱っていました。

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.
本紙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。

TA20857-7/19

www.analog.com/jp



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™