

低入力バイアス電流、フロントエンド SAR ADC 回路

Mike Stout

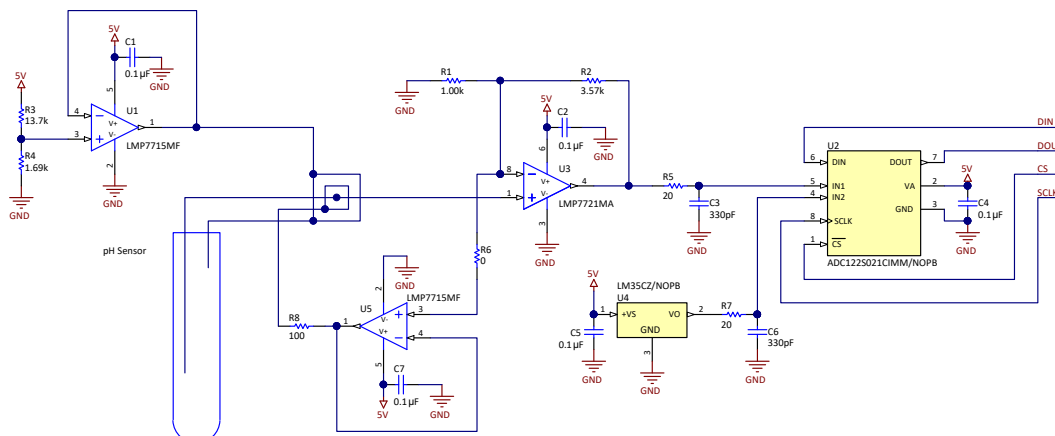
入力	ADC入力	デジタル出力ADC122S021
VinMin = 0.03V	IN1 = 0.14	115 = 0x073
VinMax = 1.07V	IN1 = 4.88	3998 = 0xF9E
VinMin = 0V	IN2 = 0V	0 = 0x000
VinMax = 1V	IN2 = 1V	819 = 0x333

電源	
V+, VA	V-
5V	0V

設計の説明

この設計は、SAR ADCの駆動に使用する低**ibias** (入力バイアス電流)アンプを示しています。誤差を最小限に抑えるため、出力インピーダンスが高いセンサには入力バイアス電流の小さいアンプが必要です。このようなセンサを使用する用途には、*ガス検知器*、*血液ガス分析装置*、*空気質検出器*などがあります。この設計ではセンサにpHプローブを使用します。pHプローブの出力インピーダンスは10MΩから1000MΩまであります。出力インピーダンスが10MΩのpHプローブを入力バイアス電流が3nAのオペアンプとともに使用すると、オペアンプの入力バイアス電流による誤差は30mVになります。「部品選定」に述べる入力信号振幅とゲインを採用すると、この30mVは約2.9%の誤差に相当します。入力バイアス電流が3fAのオペアンプを使用した場合、誤差は30nVに低減します。

pHセンサの出力は急激には変化しないため、低速のADCを使用できます。pHセンサの値は温度の変化に伴って変動することから、1つのチャンネルを温度監視に使用できるよう、2チャンネルのADCを選定しました。この設計で使用されるADC122S021は、2チャンネル、12ビット、最高200kspsのサンプリング・レートのADCです。



仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果	測定結果
Ibias	20fA	118fA	20fA

デザイン・ノート

1. C3およびC6にはCOG (NPO)コンデンサを使用します。
2. 各ICに0.1μFのバイパス・コンデンサを入れる必要があります。
3. PCBレイアウトは非常に重要です。『[LMP7721 Multi-Function Evaluation Board Users' Guide](#)』を参照してください。
4. PCBは清浄なものとし、『[LMP7721 Multi-Function Evaluation Board Users' Guide](#)』を参照してください。
5. 低リーク電流設計の詳細については、『[Design femtoampere circuits with low leakage](#)』を参照してください。

部品選定

1. pHセンサの出力電圧は温度の変化に伴って変動します。0°Cで54.2mV/pH、25°Cで59.16mV/pH、100°Cで74.04mV/pHを出力します。これは、pHセンサのバイアス点を中心とする最大振幅が100°Cで±518.3mVになることを意味します。ヘッドルームを確保するため、LMP7721の最大出力は±2.4Vに制限する必要があります。したがってLMP7721のゲインは次のように設定されます。

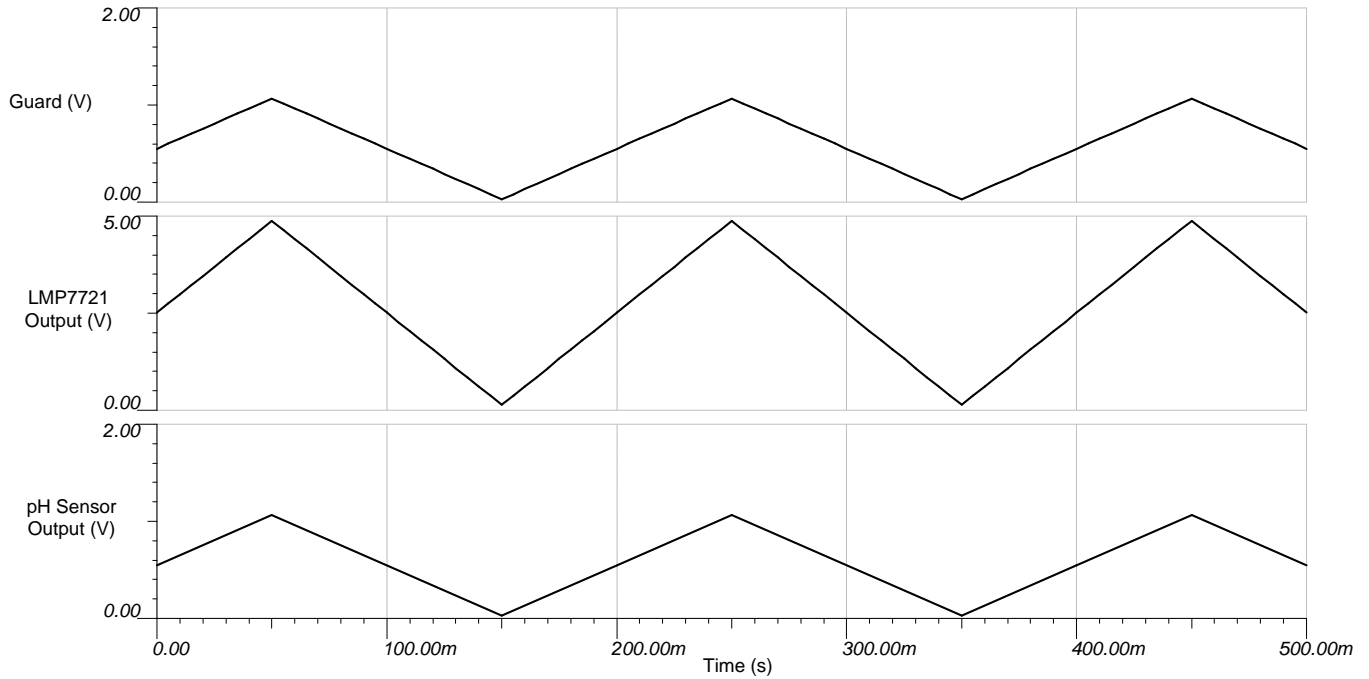
$$2.4V / 0.5183V = 4.6V/V$$
 抵抗R2 = 3.57kΩとR1 = 1kΩを設定することで、このゲインが設定されます。
2. LMP7721の入力電圧が0V～5Vであることから、pHセンサはGNDを超える値にバイアスする必要があります。分圧器を構成する抵抗R3 = 13.7kΩとR4 = 1.69kΩにより、U1の入力電圧は次のように設定されます。

$$5V \cdot 1.69k\Omega / (1.69k\Omega + 13.7k\Omega) = 549mV$$
 U1のゲインは1V/Vであるため、pHセンサのバイアスも549mVになります。pHセンサはバイアス点より-518.3mV下までスイング可能であることから、LMP7721の入力電圧はGNDを超える値に維持されます。LMP7721の出力の中心点は次のとおりです。

$$0.549V \cdot 4.6V/V = 2.52V$$
 そして中心点から±2.4Vのスイングが可能です。
3. U5を使用してガードリングの電圧を設定します。1V/Vのゲインで設定し、入力にはLMP7721の-INピンの信号とします。
4. LMP7721の出力をADC122S021 SAR ADCの入力の1つに接続します。ADCのサンプリング・コンデンサは33pFであるため、ADCのピンに隣接配置する外付けコンデンサはその10倍(330pF)にする必要があります。20Ωの小さな抵抗を直列に追加して、コンデンサをLMP7721から絶縁します。
5. pHセンサの出力は温度の変化に伴って変動するため、温度センサであるLM35をADC122S021のチャンネル2に接続します。330pFのコンデンサと20Ωの直列抵抗を温度センサの出力で使用します。

DC伝達特性

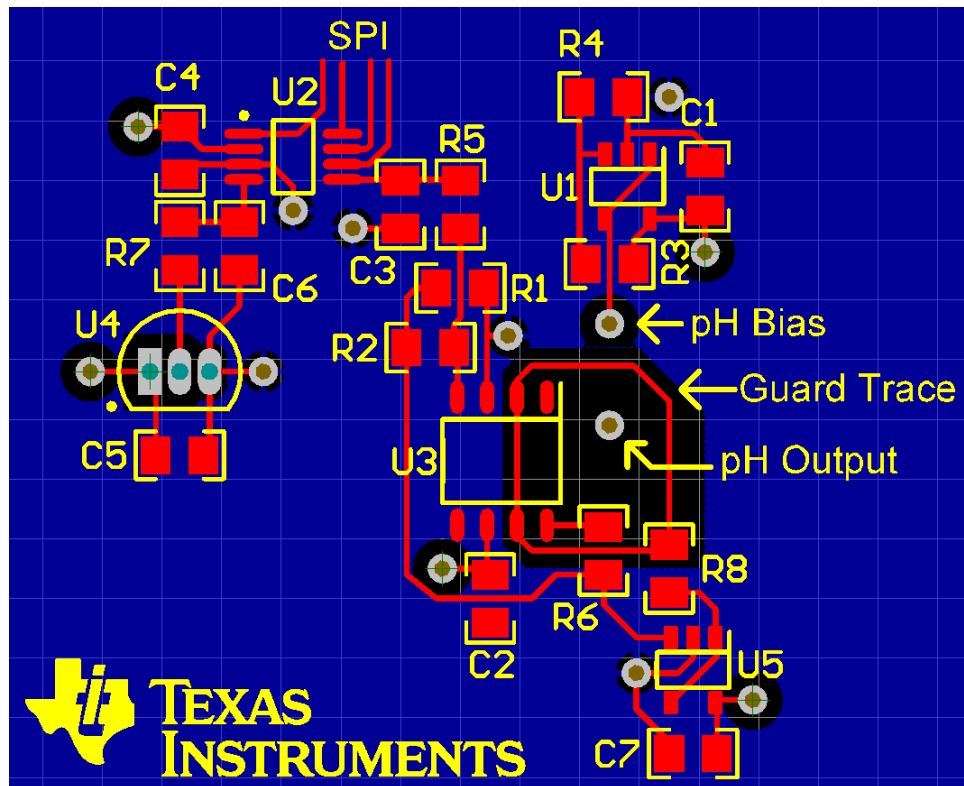
以下のグラフは、LMP7721へのpHセンサ入力、ガード電圧、LMP7721出力を示しています。このデータは100°Cのもので、pHセンサ出力の出力振幅は最大になっています。



レイアウト

低I_{bias}回路ではPCBレイアウトが極めて重要です。2つの配線の間で電位差があると、リーク電流が発生します。このためガード・パターンを配置します。ガード・パターンを入力電圧に近い電圧に設定して、LMP7721の入力と外界の間のリーク電流を最小限に抑えます。LMP7721には2つの未使用ピン(ピン2および7)があるため、これを使用してガード・パターンを簡単にレイアウトできます。

以下の画像はレイアウト例を示しています。pHセンサの出力とLMP7721の+IN入力を、入力電圧に近いガード・パターンで回路の残りの部分から分離します。これによりLMP7721の入力で生じるリーク電流を最小限に抑制できます。pHセンサのバイアスはガードの外側に配置します。バイアス点と回路の残りの部分の間に生じるリーク電流は重要ではありません。ガード・パターン内の領域はソルダ・レジストで覆わないでください。基板底面のGNDプレーンやその他の内部プレーンがある場合には、ガード領域下を「キープアウト」領域にする必要があります。



使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ADC122S021	12ビット、SPI、2チャンネル、50ksps～200ksps、シングルエンド入力	www.ti.com/product/adc122s021	www.ti.com/adcs
LMP7721	超低入力バイアス電流: 3fA、規定制限: ± 20 fA (25°C時)、オフセット電圧: ± 26 μ V、GBW: 17MHz	www.ti.com/product/lmp7721	www.ti.com/opamps
LMP7715	入力オフセット電圧: ± 150 μ V、入力バイアス電流: 100fA、入力電圧ノイズ: 5.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、ゲイン帯域幅積: 17MHz	www.ti.com/product/lmp7715	www.ti.com/opamps
LM35	摂氏(°C)温度に直接較正、リニア+10mV/°Cの温度係数、25°Cで0.5°Cの精度を保証、-55°C～150°Cの温度範囲	www.ti.com/product/lm35	www.ti.com/temperature

設計の参照資料

TIの総合的な回路ライブラリについては、「[アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)」を参照してください。

改訂履歴

改訂内容	日付	変更
A	2019年3月	タイトルを大文字から普通の表記にし、タイトルのロールを「データ・コンバータ」に変更。回路クックブックのランディング・ページへのリンクを追加。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated