

低入力バイアス電流、フロントエンド SAR ADC 回路



Mike Stout

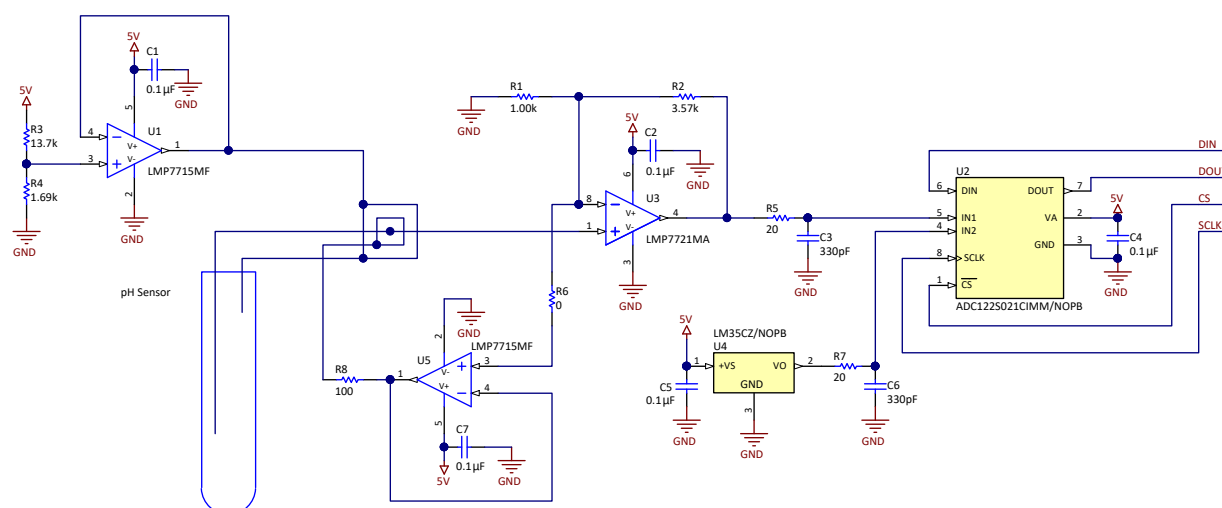
入力	ADC 入力	デジタル出力 ADC122S021
VinMin = 0.03V	IN1 = 0.14	115 = 0x073
VinMax = 1.07V	IN1 = 4.88	3998 = 0xF9E
VinMin = 0V	IN2 = 0 V	0 = 0x000
VinMax = 1V	IN2 = 1 V	819 = 0x333

電源	
V+, VA	V-
5 V	0 V

設計の説明

この設計は、SAR ADC の駆動に使用する低 I_{bias} (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 プロブを使用します。pH プロブの出力インピーダンスは $10M\Omega$ から $1000M\Omega$ まであります。出力インピーダンスが $10M\Omega$ の pH プロブを、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。この設計で使用する 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

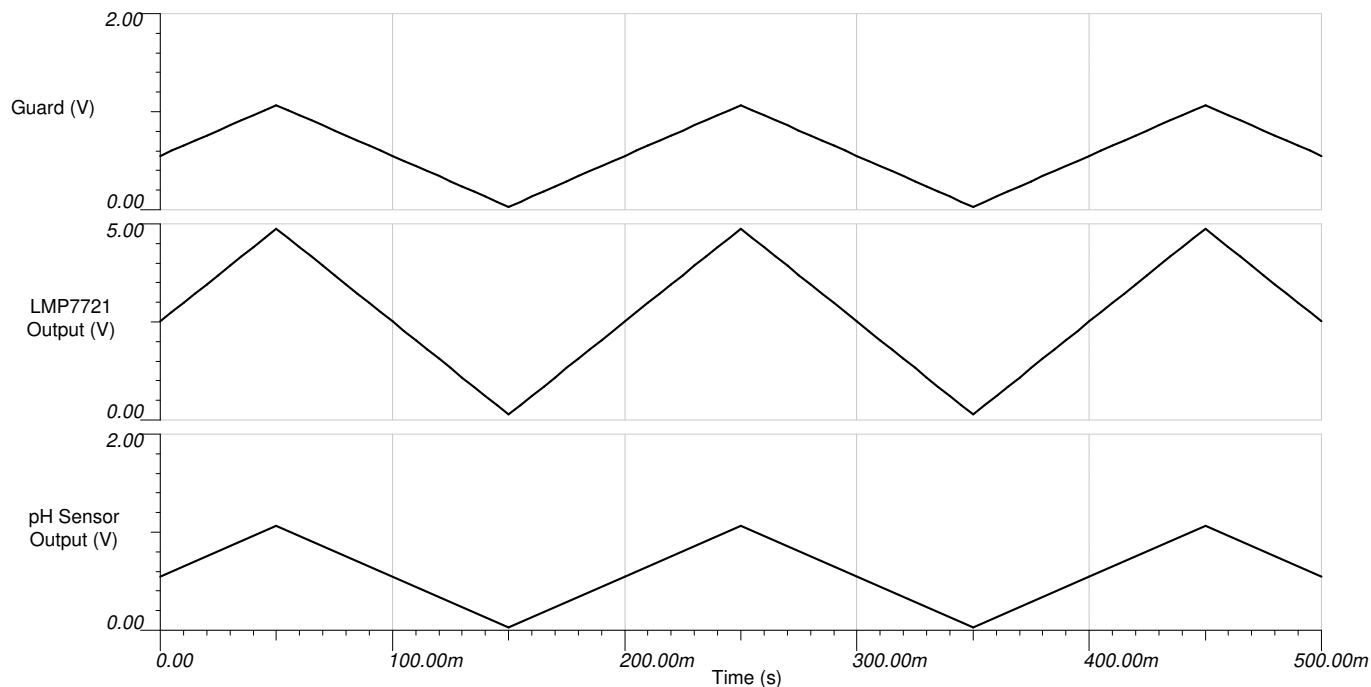
1. C3 および C6 には COG (NPO)コンデンサを使用します。
2. 各 IC に 1 つの 0.1μF バイパス コンデンサを接続する必要があります。
3. PCB レイアウトは非常に重要です。『[LMP7721 多機能評価ボード ユーザー ガイド](#)』を参照してください。
4. PCB は清浄なものとし、『[LMP7721 多機能評価ボード ユーザー ガイド](#)』を参照してください。
5. 低リーク電流設計の詳細については、『[低リーク フェムトアンペア回路の設計](#)』を参照してください。

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。出力は、0°Cで 54.2mV/pH、25°Cで 59.16mV/pH、100°Cで 74.04mV/pH に相当する電圧を出力します。これは、本 pH センサのバイアス点付近での最大振幅が、100°Cで ±518.3mV であることを意味しています。ヘッドルームを確保するため、LMP7721 の最大出力を ±2.4V に制限する必要があります。これにより、LMP7721 のゲインが $2.4V / 0.5183V = 4.6V/V$ に設定されます。
抵抗 R2 = 3.57kΩ および 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。分圧器構成の抵抗 R3 = 13.7kΩ、R4 = 1.69kΩ により、U1 の入力が $5V \cdot 1.69k\Omega / (1.69k\Omega + 13.7k\Omega) = 549mV$ に設定されます。
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ー 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 の出力は、その中心値が $0.549V \cdot 4.6V/V = 2.52V$ に設定され、中心点から上下に ±2.4V 変化できます。
3. U5 は、ガードリングの電圧を設定するために使われ、1V/V のゲインに設定され、その入力は 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。20Ω の直列抵抗を接続した 330pF のコンデンサを温度センサの出力に接続します。

DC 伝達特性

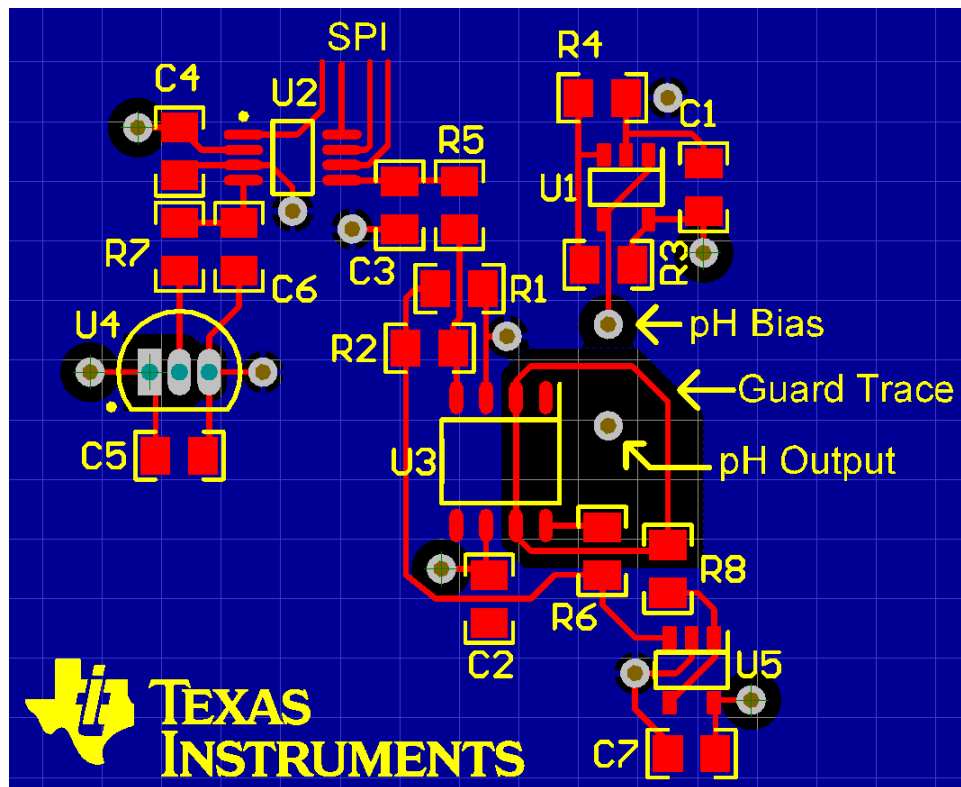
以下のグラフは、LMP7721 への pH センサ入力、ガード電圧、LMP7721 出力を示しています。このデータは 100°Cのもので、pH センサ出力の出力振幅は最大になっています。



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 つの配線の間に電位差があると、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 プレーンまたはその他の内部プレーンが存在する場合、ガード領域の下をそれらのプレーンの「キープアウト」(配置禁止) 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.tij.co.jp/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: $\pm 26\mu\text{V}$ 、GBW: 17MHz	www.ti.com/product/lmp7721	www.tij.co.jp/opamps
LMP7715	入力オフセット電圧: $\pm 150\mu\text{V}$ 、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.tij.co.jp/opamps
LM35	摂氏 (°C) 温度に直接校正、リニア + 10mV/°Cの温度係数、25°Cで 0.5°Cの保証精度、-55°C～150°Cの温度範囲	www.ti.com/product/lm35	www.tij.co.jp/temperature

設計の参照資料

テキサス・インスツルメンツ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。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (March 2019) to Revision B (September 2024)	Page
• 文書全体にわたって表、図、相互参照の書式を更新.....	1

Changes from Revision * (February 2018) to Revision A (March 2019)

Page

-
- 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。 1
-

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

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 の販売条件](#)、または [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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated