

使用したリファレンス・デバイス

ADAS1000	5 電極の心電計 (ECG) 用アナログ・フロントエンド (AFE)、低消費電力 (呼吸計測およびペース検出機能付)
ADP151	リニア・レギュレータ、200mA、超低ノイズ、CMOS

Circuits from the Lab™
Reference Circuits
実用回路集

テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は <http://www.analog.com/jp/CN0308> をご覧ください。

バッテリー駆動の患者モニタリング・アプリケーションにおける ECG フロントエンドへの電力供給

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

評価ボード (EVAL-ADAS1000SDZ)

システム・デモンストレーション・プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z)

設計と統合ファイル

回路図、レイアウト・ファイル、部品表

回路の機能とその利点

この回路は、バッテリー駆動の患者モニタリング・アプリケーションで使用される心電計 (ECG) 用高集積フロントエンドです。

図 1 に、呼吸計測やペース検出などの機能を備えた代表的な 5 リード (4 つの四肢用リードと 1 つの前胸部用リード) ECG 測定システムの物理的接続のトップレベル図を示します。携帯型の ECG 遠隔測定器やライン給電される臨床機器からの節約誘導セットでは代表的な構成です。

皮膚の表面で測定すると、ECG の信号は振幅が小さく、通常約 1mV です。その小さい信号の内部に患者の健康や他の特性に関する重要な情報が記録されるので、 μV レベルの測定感度が求められます。システム・レベルでは、さまざまな医療規格がノイズを最大 30 $\mu\text{Vp-p}$ までにすることを要求しています。しかし、一般に、設計者が目標とするのはこれより小さい値です。このため、システム・レベル要件に適合するソリューションを設計する際は、あらゆるノイズ源を考慮する必要があります。

ADAS1000 のノイズ性能は、さまざまな動作条件で規定されています。電源は、全体の性能を低下させないように設計する必要があります。リニア・レギュレータ ADP151 が選択された理由はその超低ノイズ性能 (9 μVrms (typ)、10Hz~100kHz) にあり、ADAS1000 の電源除去比と組み合わせると、ADP151 のノイズが全体的なノイズ性能を低下させることは決してありません。

回路説明

5 電極の ECG 用アナログ・フロントエンド (AFE) の ADAS1000 は、低消費電力、低ノイズ、高性能、テザー付き、携帯型という次世代の ECG システムの課題に対応します。

ADAS1000 は 5 電極入力と右脚駆動 (RLD) 専用の出力リファレンス電極からなる高集積チップで、高度なモニタリングと診断を行う ECG 測定用に設計されています。

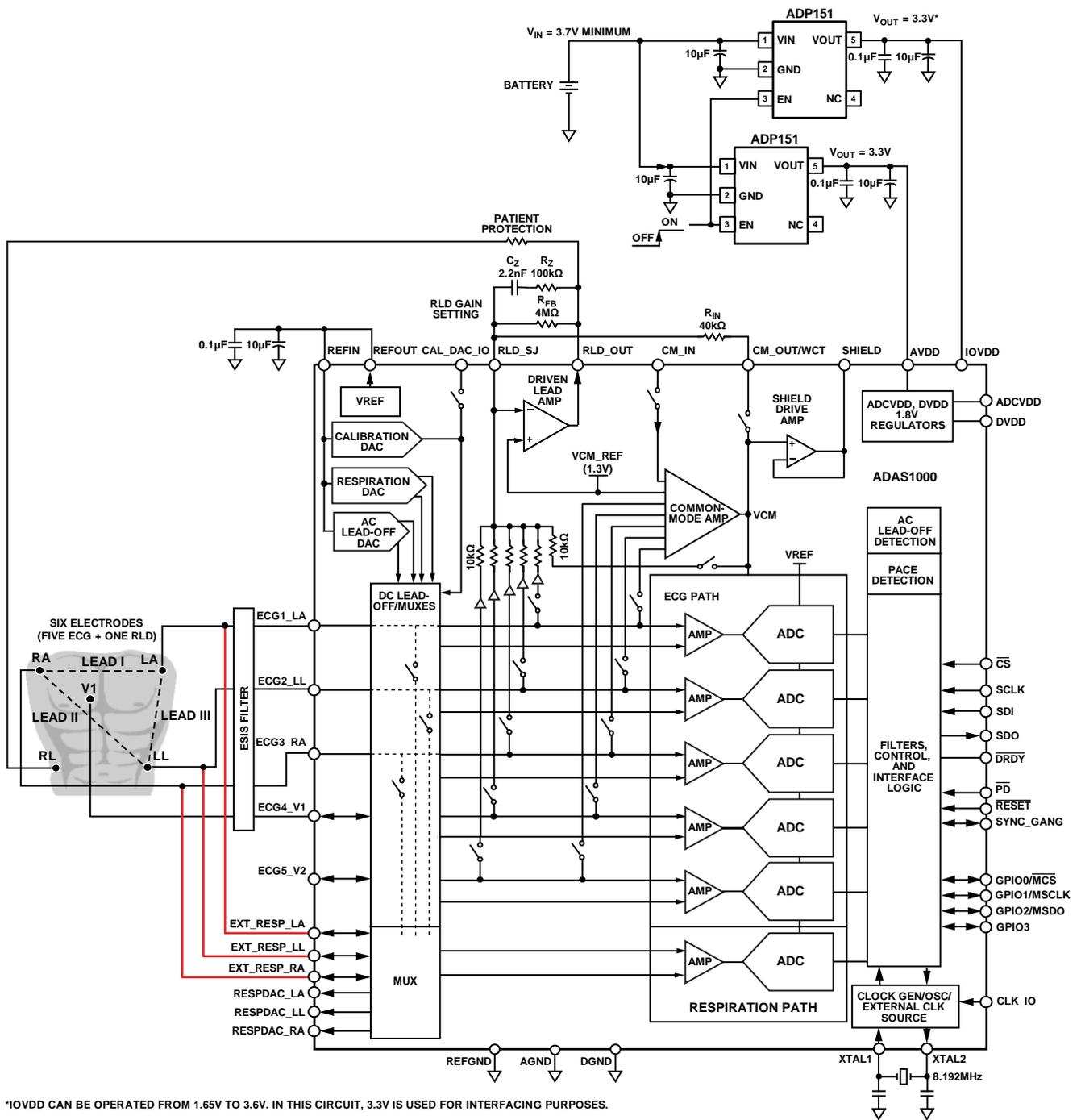
ADAS1000 は ECG 信号のモニタリングに必要な要素に対応するだけでなく、呼吸計測 (胸郭インピーダンス測定)、ペース・アーチファクト検出、リード/電極の接続ステータス表示、内部校正などの機能を備えています。

1 個の ADAS1000 で 5 電極入力に対応するので、従来の 6 リード ECG 測定は容易に実現します。もう 1 個の ADAS1000 をスレーブ・デバイスとして並列接続すると、システムのスケーリングによる真の 12 リード測定 (9 個の電極と 1 個の RLD からなる) が可能で、さらに、複数のスレーブ・デバイス (3 個以上) を追加することにより、15 以上のリードで測定するようにシステムをスケーリングできます。

呼吸

ADAS1000 には、46kHz~64kHz にプログラム可能な周波数で駆動する呼吸計測用の D/A コンバータ (DAC) と、この難しい計測を簡素化する A/D コンバータ (ADC) が搭載されています。固有のケーブル・パラメータを考慮して、測定値は呼吸を判定できる大きさと位相になるように復調および変換されます。回路の分解能は、内部コンデンサを使用すると 200m Ω で、外部コンデンサを使用するとそれより高く (<200m Ω) になります。この回路は柔軟性の高いスイッチング方式を採用しているため、3 つのリード (I、II、または III) のいずれでも測定可能です。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。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。*日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。



*IOVDD CAN BE OPERATED FROM 1.65V TO 3.6V. IN THIS CIRCUIT, 3.3V IS USED FOR INTERFACING PURPOSES.

NOTES

1. IN THIS CIRCUIT, THE AGND, DGND AND REFVDD ARE ALL TIED INTO ONE GROUND PLANE. THE DIGITAL GROUND AND DIGITAL CIRCUITRY CAN BE SPLIT INTO A SEPARATE GROUND, WITH CONNECTION MADE TO AGND AT THE ADAS1000 DEVICE. THE CONFIGURATION SHOWN HERE USES RA, LA, LL, V1 AND RLD, LEAVING 1 SPARE ADC PATH THAT CAN BE USED FOR OTHER MEASUREMENTS. ALTERNATIVELY, THIS CAN BE GANGED WITH A SLAVE ADAS1000 DEVICE TO ACHIEVE A NINE ECG + ONE RLD OR 12-LEAD MEASUREMENT.

図 1. 代表的な 4 電極 + RLD (5 リード) 構成で使用する ADAS1000 を示した簡略ブロック図 (全接続の一部およびデカップリングは省略されています)

11108-001

ペース検出アルゴリズム

ペース検出アルゴリズムは、デジタル・アルゴリズムの3つのインスタンスを、ペース検出の対象となり得る4つのリード（I、II、III、またはaVF）のうち3つで実行します。このアルゴリズムは、高周波のECGデータに対して内部のデシメーションやフィルタリングと並行して実行され、 $100\mu\text{s}$ ～ 2ms の幅のピーキング・アーチファクトと $400\mu\text{V}$ ～ 1000mV の振幅を検出および測定するように設計されています。ADAS1000は、1つ以上のリードでペースが検出されたことを示すフラグとともに、検出した信号の高さと幅の測定値を返します。ユーザ独自のデジタル・ペース・アルゴリズムを実行したい場合、ADAS1000は高速データレート（ 128kHz ）でECGデータを提供する高速ペース・インターフェースを備えています。フィルタリングとデシメーションを実行したECGデータは標準インターフェース上に残ります。

低消費電力

ADAS1000は低消費電力設計で、5電極のECG測定器の駆動に必要な電力はわずか 21mW です。バッテリー駆動のホルター心電計や遠隔測定装置などのアプリケーションでは、全体の消費電力を極力抑えるために、未使用のチャンネルや機能を容易に無効にして、ECGの1リードあたりの消費電力をさらにわずか 11mW に低減できます。

低ノイズ

さまざまな状態を適切に診断する上で、低ノイズ性能は非常に重要です。最終機器の規制基準に対応するには、ADAS1000のノイズ性能が必要です。ADAS1000では、ノイズ性能、消費電力、データレート間のトレードオフが可能です。デバイスを広範な製品に適合させることができます。ADAS1000の性能は、消費電力がさほど重視されないライン給電されるECGシステムにおいても優れています。

デバイスのノイズ性能は、高性能モードで最適化することができます。このモードでは、内蔵の逐次比較型A/Dコンバータのサンプリング・レートが 2MSPS に向上するので、S/N比が高くなります。

柔軟なデータレート

標準シリアル・インターフェースは、リードオフ・ステータス、ペース、呼吸、その他の補助機能を含め、ECGに関するあらゆる情報を出力します。32ビットまたは16ビットの多数のデータ・ワード（パケットまたはフレームと総称される）は、データ・バスのシリアルSDOピンに出力されます。データ・キャプチャをきわめて容易にするために、さまざまなフレーム・データレート（ 2kHz 、 16kHz 、または 128kHz ）を使用可能です。データレートを最も遅い 2kHz にすると、デシメーション量を増やすことができるので、低ノイズ性能を得るには最適なフレーム・データレートです。また、データをスキップ・モードで読み出すことも可能で、このモードでは、パケットまたはフレームをデバイスから読み出すのにワードを1つおきか2つおきに読み出します。最も遅いデータレートは 500Hz です。

SDPボードに接続されたADAS1000評価ボードの写真を図2に示します。

この評価ボードは、1リードから12リードのECG測定を実行するように設計されています。

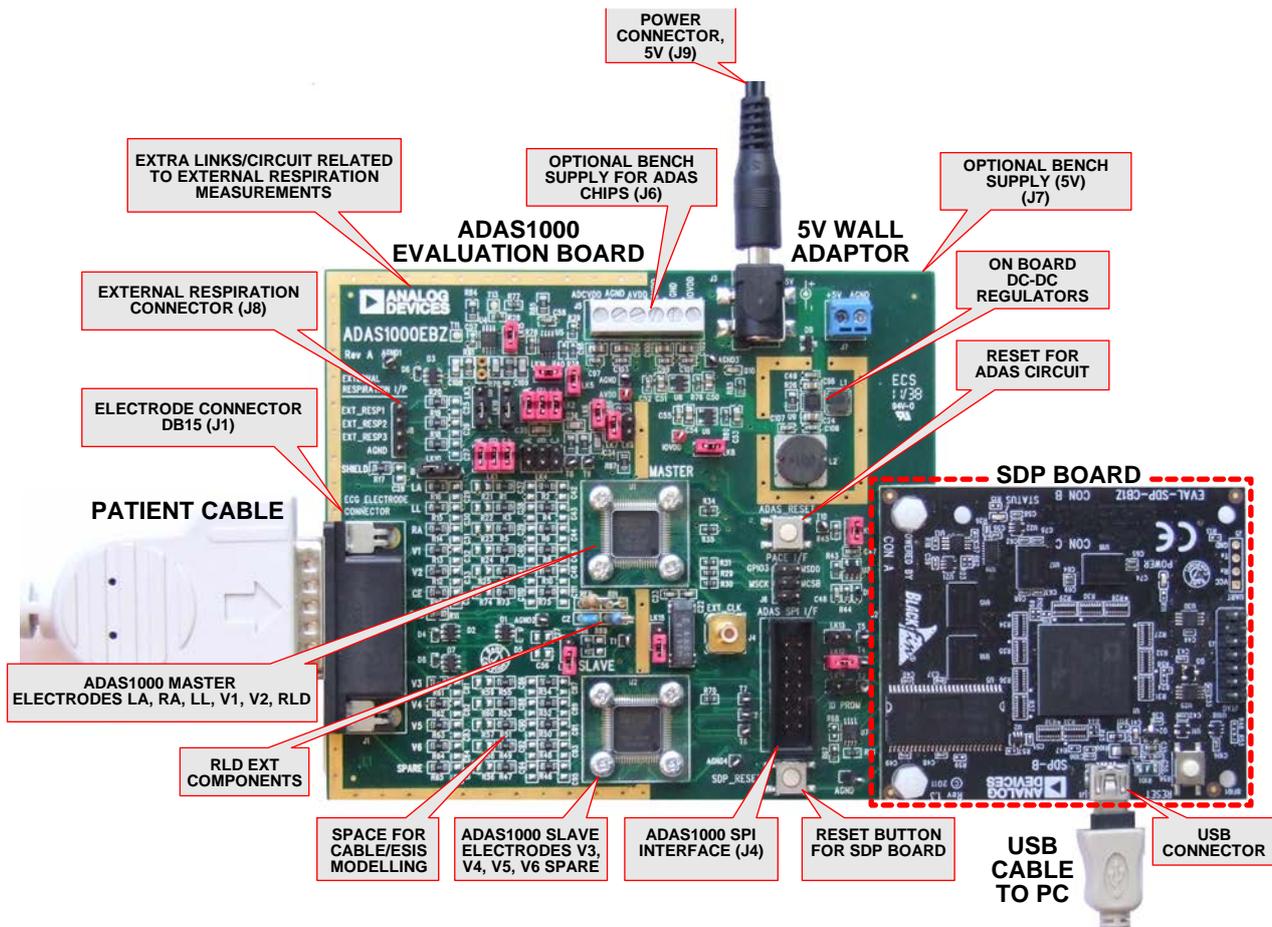


図 2. ADAS1000 評価ボード/SDP ボード (EVAL-SDP-CB1Z)

携帯型 ECG アプリケーションで使用されるバッテリー

携帯型の ECG 機器で使用されるバッテリーの種類はさまざま、交換や再充電が容易な AA バッテリーまたは AAA バッテリーが使用されている場合もあります。

バッテリーは機器全体の重量に影響します。患者の使い心地が重要なので、ソリューション全体のサイズと重量を最小限に抑えながらバッテリー寿命を延ばすことが携帯型 ECG アプリケーションの最大の課題です。

最近の製品はリチウムイオンなどのバッテリーを採用する傾向にあり、製品によって数時間から数日間の動作時間を達成します。

バッテリーの電圧範囲は、システム内の部品の電源電圧範囲に依存します。ADAS1000 の場合は 3.3V の AVDD が必要です。したがって、ADP151 レギュレータを使用する場合、バッテリーは少なくとも 3.7V を供給する必要があり、それには 400mV のヘッドルームが必要となります。リチウムイオン・バッテリーまたはリチウムポリマ・バッテリーの公称セル電圧は 3.7V です。しかし、放電電圧が約 3.2V であるため、ADP151 向けに最小 3.7V を保証するには 2 個をスタックにする必要があります。

適切な電源ソリューションの選択

ADAS1000 は、AVDD と IOVDD の少なくとも 2 本の電源レールを必要とします。表 1 に示すように、ADCVDVDD と DVDD のレールはオプションで、これらの電源は、ADAS1000 に搭載され

た LDO を使ってそれぞれ AVDD と IOVDD のレールから引き出すことができます。

表 1. ADAS1000 に必要な電源

Power Rail	Voltage Range	Function
AVDD	3.3 V \pm 5%	Analog supply rail
IOVDD	1.65 V to 3.6 V	Digital interface supply rail
ADCVDVDD (optional)	1.8 V \pm 5%	ADC supply rail; can be derived from AVDD using internal LDO
DVDD (optional)	1.8 V \pm 5%	Digital supply rail; can be derived from IOVDD using internal LDO

評価ボード上で、AVDD と IOVDD は 3.3V で給電されます。この 3.3V は、EVAL-SDP-CB1Z 上の SPORT インターフェースとの互換性を維持するために、IOVDD レール用に選択されたものです。低い電源電圧で動作するマイクロコントローラとインターフェースする場合は、IOVDD の電源電圧を 1.65V まで低減できます。

一方、より電力効率の高いソリューションが必要な場合は、ADAS1000上のハードウェア・ピン（VREG_EN）を使って内部レール ADCVDD と DVDD をディスエーブルすることができます。こうすると、ADCVDD および DVDD レールを外部電源で駆動できるようになります。ADCVDD レールはチップ上の ADC に給電するためにできるだけクリーンにしておく必要がありますので、ノイズの多いデジタル電源と共有してはなりません。

1 個の ADAS1000 の AVDD レールの電源電流は、5 チャンネルすべてがイネーブルの場合、動作モードに応じて通常 8mA～15mA の範囲です。未使用のチャンネルは、ディスエーブルして消費電力を抑えることができます。

専用の ADP151 が、評価ボード上の AVDD と IOVDD 両方の電源に使用されます。各 ADP151 の駆動能力は 200mA なので、システム内の他の部品に給電可能です。ADP151 レギュレータには、ボード上で他の目的で生成される 5V レールから入力されます。

IOVDD レールのデジタル・ノイズが確実に ACVDD レールに混入しないように適切なフィルタリングを追加すれば、1 個の ADP151 で AVDD と IOVDD 両方のレールに給電可能です。

EVAL-ADAS1000SDZ 評価ボードは、約 250mA 時に 5V を必要とする EVAL-SDP-CB1Z ボードに電力を供給するように設計されています。昇降圧 DC/DC コンバータ ADP2503 は、このボードへの 4.5V～5.5V の入力電源から 5V レールを生成します。

このハードウェアに、SDP ボードを接続した状態でバッテリーから給電すると、全体の消費電力によりバッテリーは短時間で放電します。

バリエーション回路

ADAS1000 ファミリーの他のピン互換 ECG フロントエンドでは、機能が縮小されています。たとえば、ADAS1000-4 はペース検出と呼吸計測機能を備えた 3 チャンネル・バージョン、ADAS1000-3 は 3 つの ECG チャンネルを提供しますが、ペース検出および呼吸計測機能はありません。ADAS1000-2 は、12 リードの ECG 測定（9 個の ECG 電極と 1 個の RLD）に対応するために ADAS1000 と連動構成で使用することを目的とした、5 つの ECG チャンネルを持つデバイスです。表 2 に、ファミリーの製品間の相違点を示します。多様な製品により、少ないリード数から 15 以上のリード数までの幅広い測定に対応する柔軟な構成を保証します。

表 2. 多様な ADAS1000 の製品ファミリーの機能概要

Generic	ECG	Operation	Right Leg Drive	Respiration	Pace Detection	Shield Driver	Master Interface ¹	Package Option
ADAS1000	Five ECG channels	Master/slave	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	LFCSP, LQFP
ADAS1000-1	Five ECG channels	Master/slave	Yes			Yes	Yes	LFCSP, LQFP
ADAS1000-2	Five ECG channels	Slave						LFCSP, LQFP
ADAS1000-3	Three ECG channels	Master/slave	Yes			Yes	Yes	LFCSP, LQFP
ADAS1000-4	Three ECG channels	Master/slave	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	LFCSP, LQFP

¹ マスター・インタフェースは、独自のデジタル・ペース・アルゴリズムを使用したいユーザ向けに提供されています。ADAS1000 のデータシートの「Secondary Serial Interface」セクションを参照してください。

レイアウトとリップル・ノイズに留意すれば、DC/DC コンバータを電源に使用して効率を高めることができます。

回路の評価とテスト

装置一覧

以下の装置が必要です。

- EVAL-ADAS1000SDZ キット。EVAL-ADAS1000SDZ 評価ボード、5V AC アダプタ電源、ADAS1000 評価用ソフトウェアが入った CD を含む
- EVAL-SDP-CB1Z システム・デモボード
- USB ポート付きで ADAS1000 評価用ソフトウェアがインストールされた PC
- 信号キャプチャに使用可能な患者シミュレータまたはファンクション・ジェネレータ

ADAS1000 評価ボードの使い方の詳細は、[ADAS1000SDZ User Guide](#) に記載されています。患者シミュレータを評価ボードに接続して評価ボード・ソフトウェアを使用した場合の代表的な画面を、図 3 に示します。



図 3. ADAS1000 に患者シミュレータを接続した場合の画面。心拍数= 70 BPM

ノイズ測定

ADAS1000 評価ボードを使用して ECG のリード経路のピーク to ピーク・ノイズ性能データをキャプチャするために、評価ボード・ソフトウェアを使用しました。その結果を図 4 に示します。

デバイスは以下の条件で構成しました。

- ゲイン設定：1.4
- ADC のサンプリング・レート：2MSPS (高性能モード)
- データレート：2kHz
- デジタル・リード・モード (リードをデジタル計算)
- ECG チャンネルを 1.3V の内部テスト・トーンに接続

2kHz ECG Chart

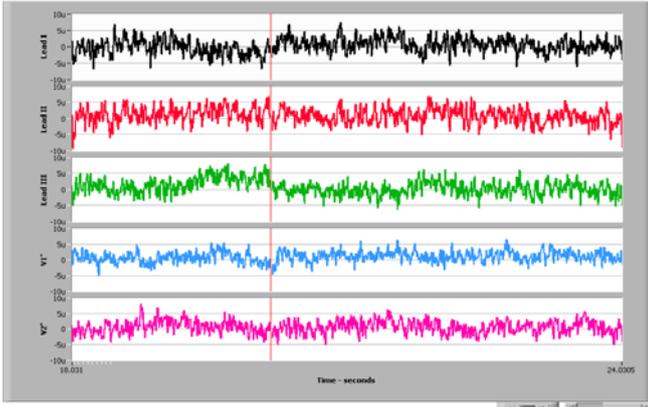


図 4. ADAS1000 評価ボードと評価用ソフトウェアを使ってリード・モードで行った ADAS1000 によるノイズ測定の画面

X 軸は時間がベースで、キャプチャを行った秒数を示しています。Y 軸の目盛の単位は μV で、上記条件でのノイズ性能が約 $\pm 7\mu\text{V}$ であることを示しています。これは ADAS1000 の性能予想と合致しており、低ノイズでリニアのベンチトップ電源を使って同じハードウェアで収集した性能データと同等です。このことから、評価ボード上では、ADP151 の電源回路により ADAS1000 全体のノイズに大幅な増加は生じなかったことが確認されました。

本評価ボードと回路ノートの利用に関する条件

詳細な免責条項については [ADAS1000SDZ User Guide](#) を参照してください。

本評価ボードのデザインは「現状のまま」提供されるもので、明示的にも黙示的にもいかなる種類の表明も保証も行われません。また、本ボードまたはデザインの使用により、アナログ・デバイセズ社ならびにその子会社、取締役、役職者、従業員、代理業者に対する法的義務は一切生じないものとします。さらに、本評価ボードまたはデザインが、製品の誤動作

または故障により人身傷害または死亡に至る可能性のあるセーフティ・クリティカルな医療用アプリケーション (生命維持装置など) での使用に関する認可を得ていないことが理解および同意されているものとします。本ボードを診断の目的で使用してはならず、人または動物に接続してはなりません。また、ボード上の電源レールを上回る高電圧を生じる除細動器またはその他の機器と一緒に使用してはなりません。

本評価ボードは、評価および開発用にのみ提供されています。最終製品またはその一部として使用されることは想定していません。当該用途への本評価ボードまたはデザインの使用はすべてお客様の責任で行われるものとし、当該の許可されていない使い方をしたことに起因する一切の責任ならびに発生した費用を、お客様はアナログ・デバイセズ社ならびにその子会社、取締役、役職者、従業員、代理業者に対して完全に補償するものとします。お客様は、当該使用法に関わる各種法的要件を順守する全責任を負うものとします。

さらに詳しい資料

CN-0308-Design Support Package: <http://www.analog.com/CN0308-DesignSupport>

MS-2160 Technical Article : Mitigation Strategies for ECG Design Challenges, Analog Devices

MS-2125 Technical Article : 同相信号除去: ECG サブシステムとより優れた性能を得るために使用する技術に対する関連性

MS-2126 Technical Article : Multiphysiological Parameter Patient Monitoring, Analog Devices

MS-2066 Technical Article : Low Noise Signal Conditioning for Sensor-Based Circuits, Analog Devices

Video AFE for Diagnostic-Quality ECG Applications

MT-021 Tutorial : Successive Approximation ADCs, Analog Devices.

MT-031 Tutorial : Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND," Analog Devices.

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques, Analog Devices.

データシートと評価ボード

ADAS1000 データシート

ADAS1000-1 データシート

ADAS1000-2 データシート

ADAS1000-3 データシート

ADAS1000-4 データシート

ADP151 データシート

改訂履歴

10/12—Revision 0: 初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確かつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。