

ADS8318およびADS8319用の、低消費電力の入力リファレンス・ドライバ回路

Hemant Ashok Deshmukh

Data Acquisition Products

概要

馴染んだ種類のオペアンプを、あらゆる用途へ導入するのは考え物です。その用途固有の要求仕様を満たせません。低消費電力用途で、A/Dコンバータ(ADC)をドライブするオペアンプの選定などはそのうちの一つです。入手可能な低消費電力オペアンプの大多数では、帯域幅、セトリング時間、スルー・レート、内部ノイズ等のパラメータを犠牲にして低消費電力機能を実現していますが、犠牲になった仕様はたいいていの場合、データ変換で決定的に性能低下の要因となっています。このレポートでは、極めて低消費電力な高速オペアンプであるTHS4281と、低消費電力シリアル逐次比較型ADCであるADS8318およびADS8319(16ビット、500KSPS)との整合性について具体的に説明します。

最初にADS8318、ADS8319、THS4281を簡単に紹介した後、ADS8318(差動とシングルエンド両方の入力構成について)とADS8319のドライバ回路について説明します。その後、テスト結果を通じた回路性能を紹介するとともに、ADS8318とADS8319の両方について、オペアンプの選定に関する推奨事項をいくつか提示します。

目次

1 はじめに.....	2
2 ADS8318のドライバ回路.....	4
3 ADS8319のドライバ回路.....	7
4 パフォーマンス結果.....	7
5 ステップ入力のセトリング.....	12
6 オペアンプ選定のためのクイック・ガイド.....	13

図目次

図 1 開ループ・ゲイン vs 周波数 (一般的なオペアンプのレスポンス).....	2
図 2 帰還係数が小さくなると、ピーキングも小さくなる.....	3
図 3 ノイズ低減効果.....	3
図 4 ADS8318: ユニポーラ差動入力用のドライバ構成.....	4
図 5 ADS8318: ユニポーラ・シングルエンド入力用のドライバ構成.....	5
図 6 ADS8319: ドライバ構成.....	7
図 7 パワー・スペクトルの比較.....	8
図 8 ADS8318: 標準的なリニアリティのグラフ (差動構成).....	9
図 9 ADS8318: 標準的なリニアリティのグラフ (シングルエンド構成).....	9
図 10 ADS8319: 標準的なリニアリティのグラフ.....	10
図 11 図6の回路のステップ入力レスポンス.....	12
図 12 THS4281の動作領域と消費電力の比較.....	13

1 はじめに

ADS8318とADS8319はどちらも16ビット、500kSPSのSAR型ADCであり、Texas Instrumentから入手可能です。ADS8318はユニポーラ差動入力であり、ADS8319にはユニポーラ・シングルエンド入力です。どちらのデバイスも、極めて低い消費電力（速度500kSPSおよび電源電圧5Vにおいて標準値18mW）動作用に最適化されており、総合消費電力は速度に比例します。この特長により、これらのデバイスは幅広い低消費電力用途において魅力的です。

ADCと低消費電力オペアンプとの整合を行って、ADCの入力と基準電圧をドライブすると、ADS8318とADS8319の低消費電力という特長をさらに生かすことができます。THS4281は広い電源電圧と温度範囲に渡って低い消費電流(1mA以下)を提供するため、これらの要求事項に見合います。また、THS4281では帯域幅が高く(ゲイン2の場合の仕様値が40MHz)、短時間でセトリングします。

図1に、一般的なオペアンプの開ループ・ゲインー対一周波数レスポンスを示します。このレスポンスが示しているのは、ドミナント・ポール周波数(f_{p1})、クロスオーバー周波数(f_x)、セカンド・ポール周波数(f_{p2})です。ここまで言うクロスオーバー周波数 f_x とは $a\beta = 1$ となるポイントであり、 a はオペアンプの開ループ・ゲイン、 β は帰還係数です。

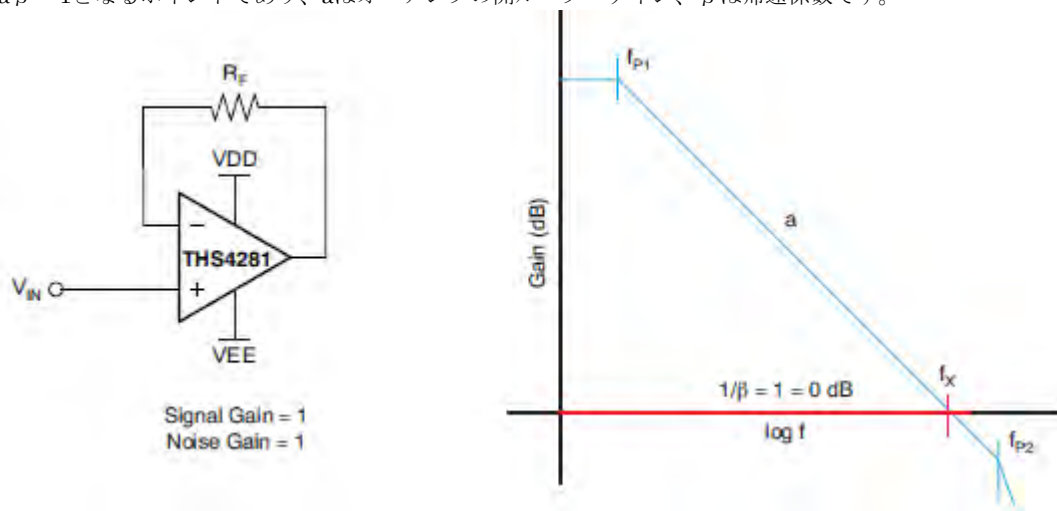


図1 開ループ・ゲインー対一周波数 (一般的なオペアンプのレスポンス)

f_x と任意の高次極(f_{p2} , f_{p3} ...)が離れている場合($f_{p2} > 10f_x$ 等の場合)は、オペアンプの開ループ・ユニティ・ゲイン周波数レスポンスは平坦になりますが、 f_x と f_{p2} が非常に近い場合は、位相マージンが小さくなるためにオペアンプの開ループ・ユニティ・ゲイン・レスポンスにピーキングが現れ、発振が起こる可能性が出てきます。その予測通り、THS4281の開ループ・ユニティ・ゲイン周波数レスポンスにおいてピーキングを示します。

オペアンプの閉ループ周波数レスポンスは、 $a\beta = 1$ となるポイント(クロスオーバー周波数)を低周波方向へ押し下げることで向上させることが可能であり、位相余裕は大きくなります。この効果は、図2のようにゲインを1のまま β を小さくしていく(つまり $1/\beta$ を大きくしていく)ことで実現できます。ただし β を小さくすると、一般的にノイズ・ゲイン(図2の $1 + R_F/R_1$)も増加することになります。このトレードオフは、ADCのS/N比が劣化する原因となります。図2の回路は、信号源とオペアンプ出力に負荷をかけないでユニティ・ゲイン構成が維持されていることに注目してください。

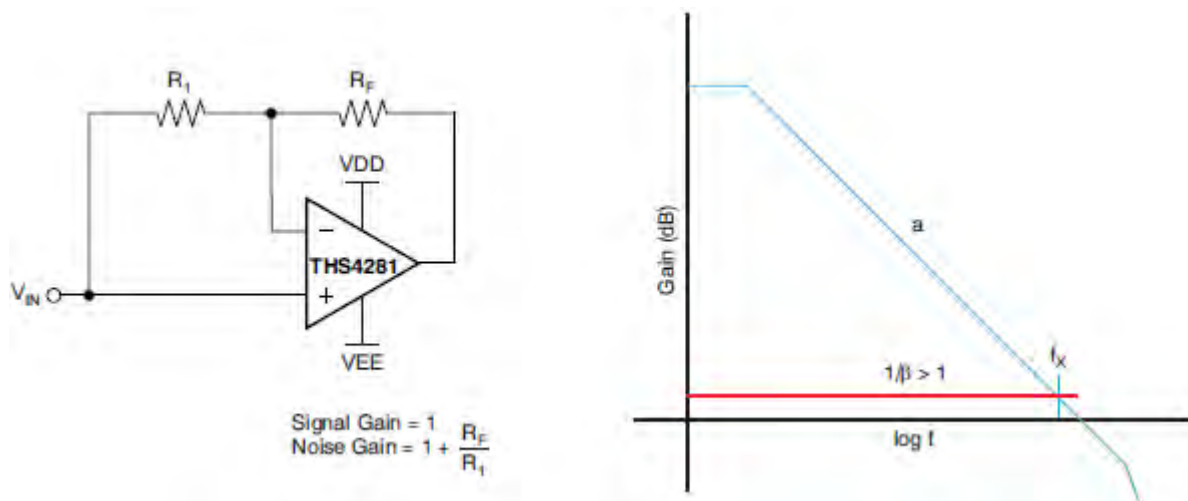


図2 帰還係数が小さくなると、ピーキングも小さくなる

帰還回路網は、図3に示すように周波数依存型として形成することが可能です。例えば、 $1/f$ ノイズが支配的になり、ノイズ・スペクトル密度が高くなる低周波数側では、ノイズ・ゲインがユニティ・ゲインに保たれます。クロスオーバー周波数 f_x ($a\beta = 1$)では $1/\beta$ が十分な高さで保たれるため、閉ループ・レスポンスのピーキングが補償されます。THS4281については、 $-3\text{dB} \sim -6\text{dB}$ で $\beta = R_1/(R_1 + R_F)$ であれば、ユニティ・ゲイン周波数レスポンスが平坦となるには十分であることが分かります。

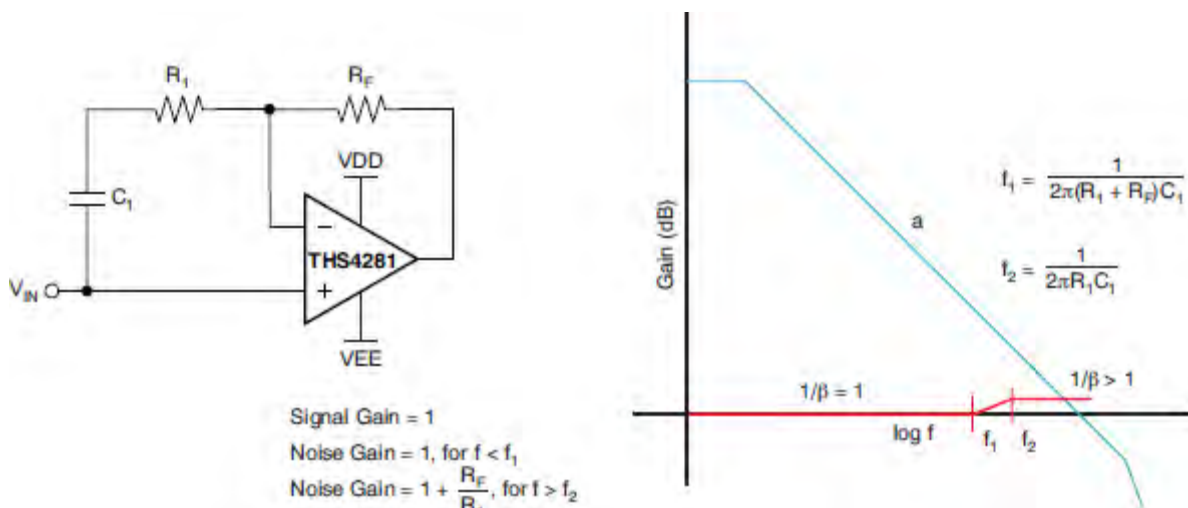


図3 ノイズ低減効果

2 ADS8318 のドライバ回路

図4と図5は、ADS8318用のドライバ回路であり、THS4281を入力ドライバおよびリファレンス・バッファとして使用しています。図4はユニポーラ差動入力用の回路構成、図5はユニポーラ・シングルエンド入力用の構成です。

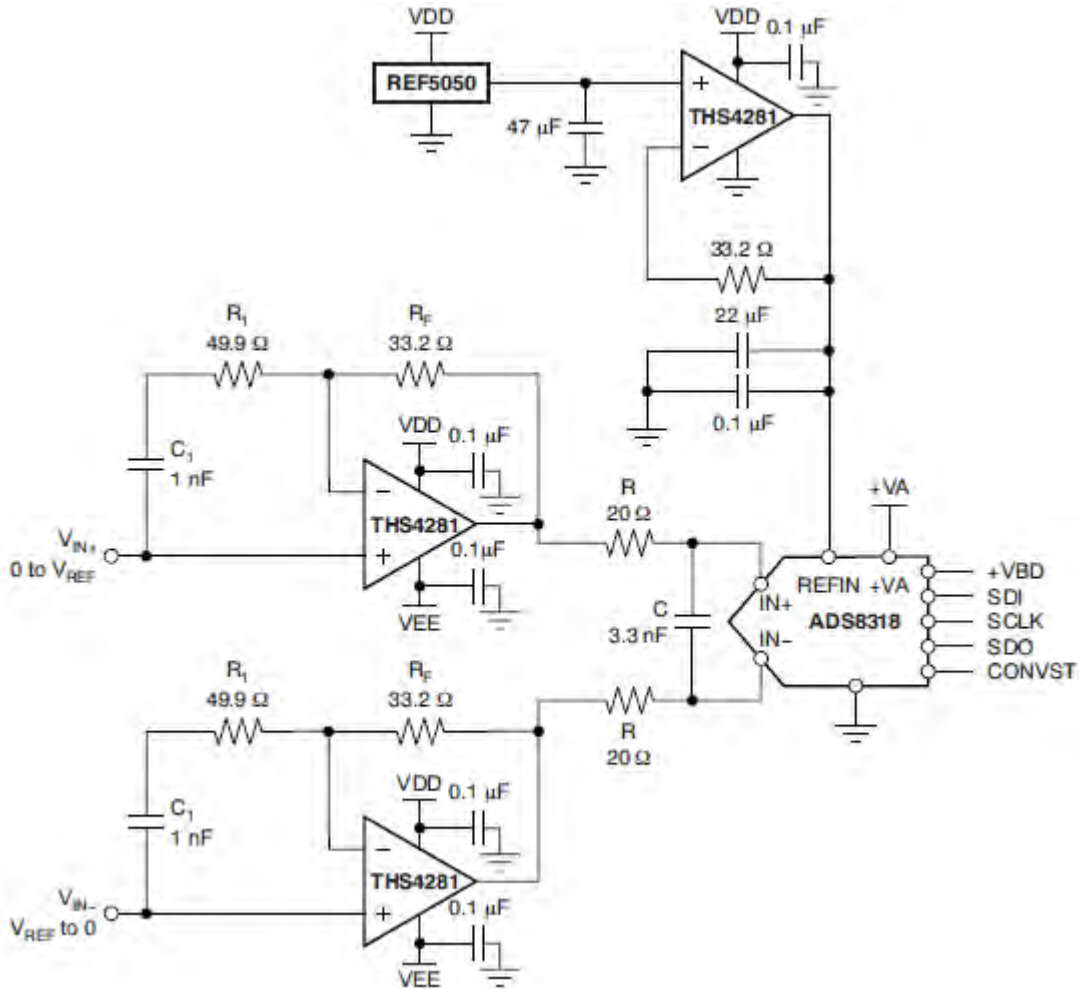


図 4 ADS8318: ユニポーラ差動入力用のドライバ構成

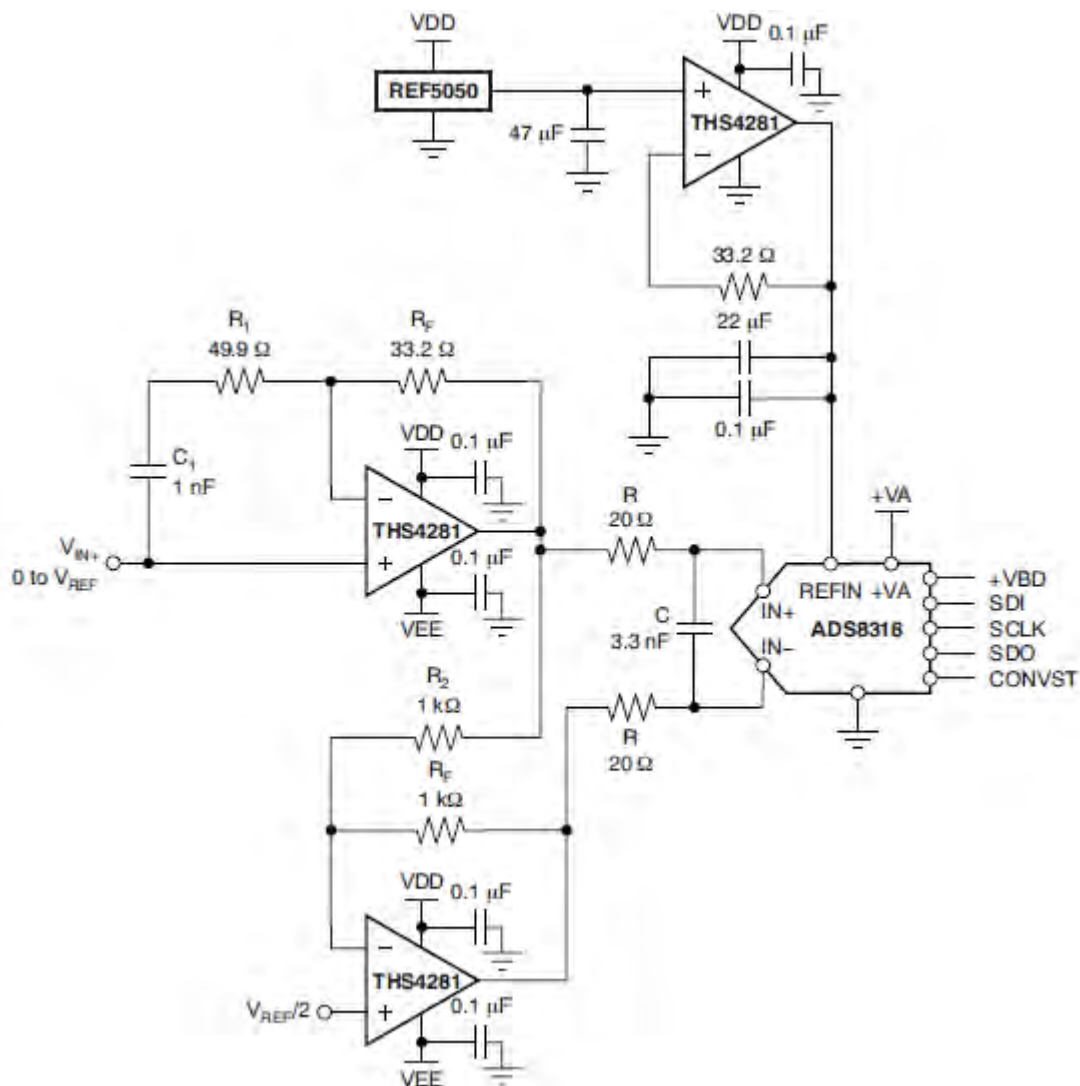


図 5 ADS8318: ユニポーラ・シングルエンド入力用のドライバ構成

これらの回路は、次のような設計パラメータを使用して構成されています。

- ・ V_{REF} = ADCに印加される基準電圧
- ・ VDD = 正のアナログ電源 ($VDD > 0$)
- ・ VEE = オペアンプに対する負の電源 ($VEE < 0$)
- ・ $VDD > VREF + 1.5V$ (THS4281の同相入力電圧に伴って発生する入力オフセット電圧のシフト(ずれ)を調整するため)
- ・ $(VDD - VEE) < 16.5V$

ADCを保護するため、THS4281のどの入力ピンも、電源投入時にフローティング状態にしないようにします。

図4を見ると、次のことが分かります。

- ・ 2RC時定数 = $2 \times 20 \times 3.3 \text{ nF} = 132 \text{ ns}$
- ・ 対応する -3dB周波数 = 1.2 MHz
- ・ THS4281の入力電圧ノイズ = $12.5 \text{ nV} \sqrt{\text{Hz}}$
- ・ ひとつのTHS4281からのノイズ寄与 = $12.5 \text{ nV} \sqrt{\text{Hz}} \times \sqrt{1.2 \text{ MHz}} = 13.7 \text{ } \mu\text{V}$
- ・ $V_{\text{REF}} = 5.0 \text{ V}$
- ・ RMS信号電圧 = $5.0 \text{ V} / 2 \sqrt{2} = 1.767 \text{ V}$
- ・ 量子化ノイズ = $5.0 \text{ V} / (2^{16} \times \sqrt{12}) = 22.0 \text{ } \mu\text{V}$
- ・ 総RMSノイズ(量子化ノイズと、2つのTHS4281のノイズ):
 $\sqrt{13.7^2 + 13.7^2 + 22.0^2} = 29.13 \text{ } \mu\text{V}$
- ・ $\text{SNR} = 20 \log(1.767 \text{ V} / 29.31 \text{ } \mu\text{V}) = 95.6 \text{ dB}$

図4で適用されている2RC時定数は132 nsです。ADCの入力で、フルスケールのステップ入力(電圧)が確度18ビットにセトリングするには、2RC時定数が次の値よりも小さくなる必要があります。

$$\frac{600 \text{ ns}}{[(N + 2) \times \ln 2]} = 48 \text{ ns}$$

ここで、次のようになります。

- ・ 600 nsは、アキュイジション時間です。
- ・ N = 16は、ADCの分解能です。

THS4281は少しノイズが大きいため、妥協可能な仕様範囲内でノイズの帯域制限を行うためのより大きな時定数が必要です。

3 ADS8319 のドライバ回路

図6は、ADS8319用のドライバ回路です。この回路でも、入力ドライバとリファレンス・バッファとしてTHS4281を使用しています。

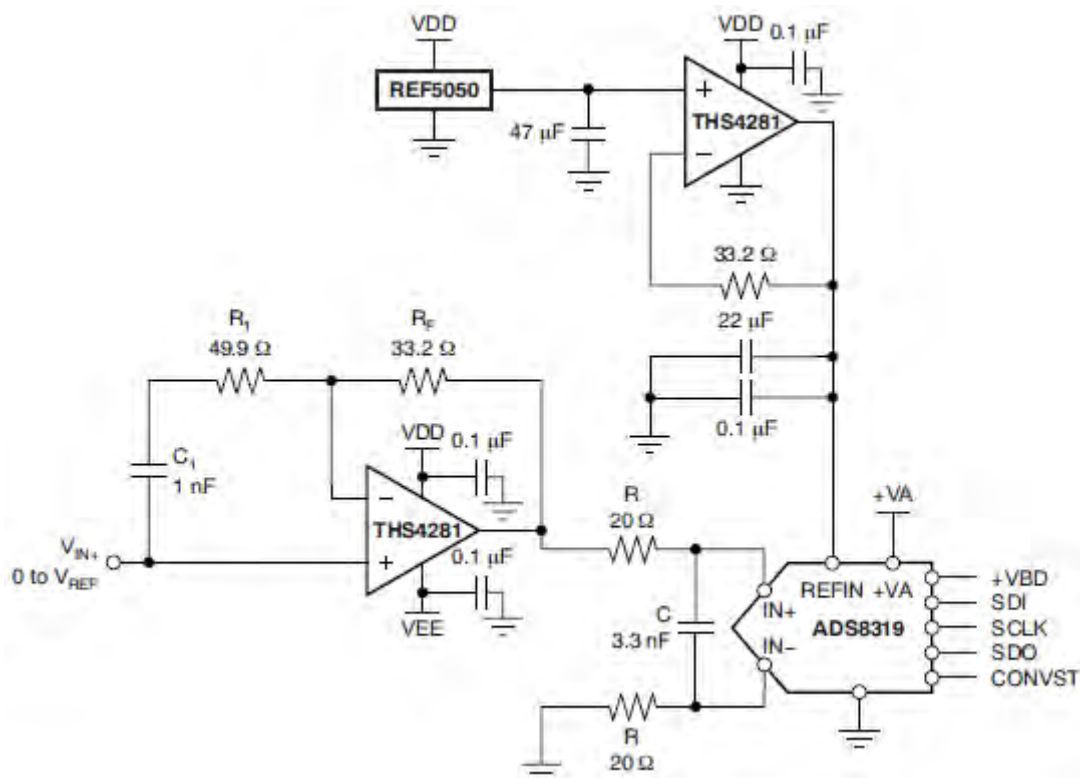


図 6 ADS8319: ドライバ構成

4 パフォーマンス結果

このセクションでは、先ず前出の数種類のドライバ構成から得られた性能に関する結果を紹介します。次にその結果を、同じ回路でTHS4031に置き換えたベンチマーク結果と比較します。ただし、THS4031は極めて高性能なオペアンプではありますが、消費電流はTHS4281と比べるとかなり大きいアンプであることに留意してください。

図7は、セクション2とセクション3で示された回路の標準的なパワー・スペクトルです。図8、図9、図10は、これらと同じ回路の標準的なリニアリティのグラフです。これらの結果を、THS4031をドライバ用オペアンプとして使用することで得られたグラフの値と比較するには、ADS8318とADS8319の製品データ・シートを参照してください。(www.ti.comからダウンロードできます)

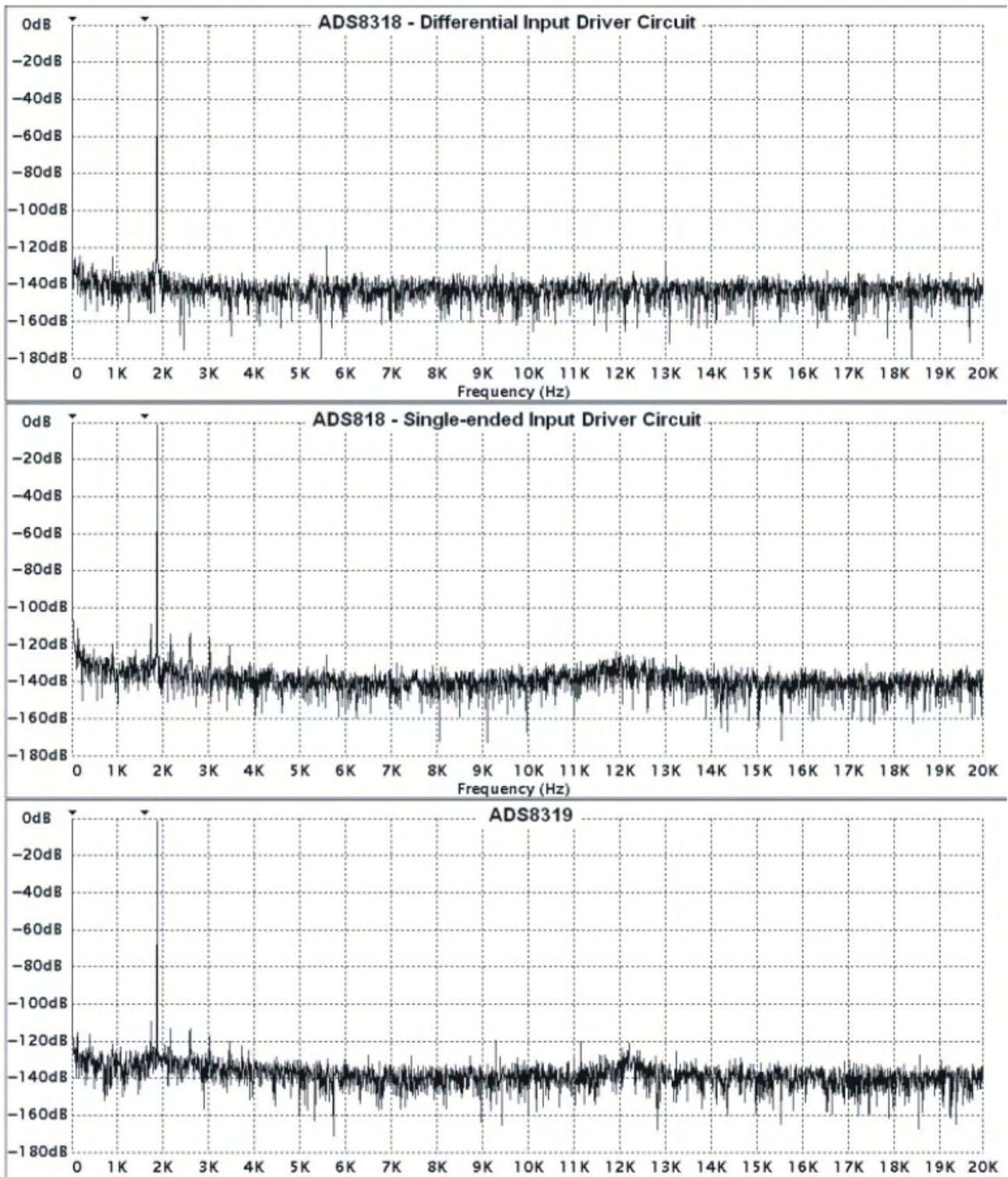


図7 パワー・スペクトルの比較

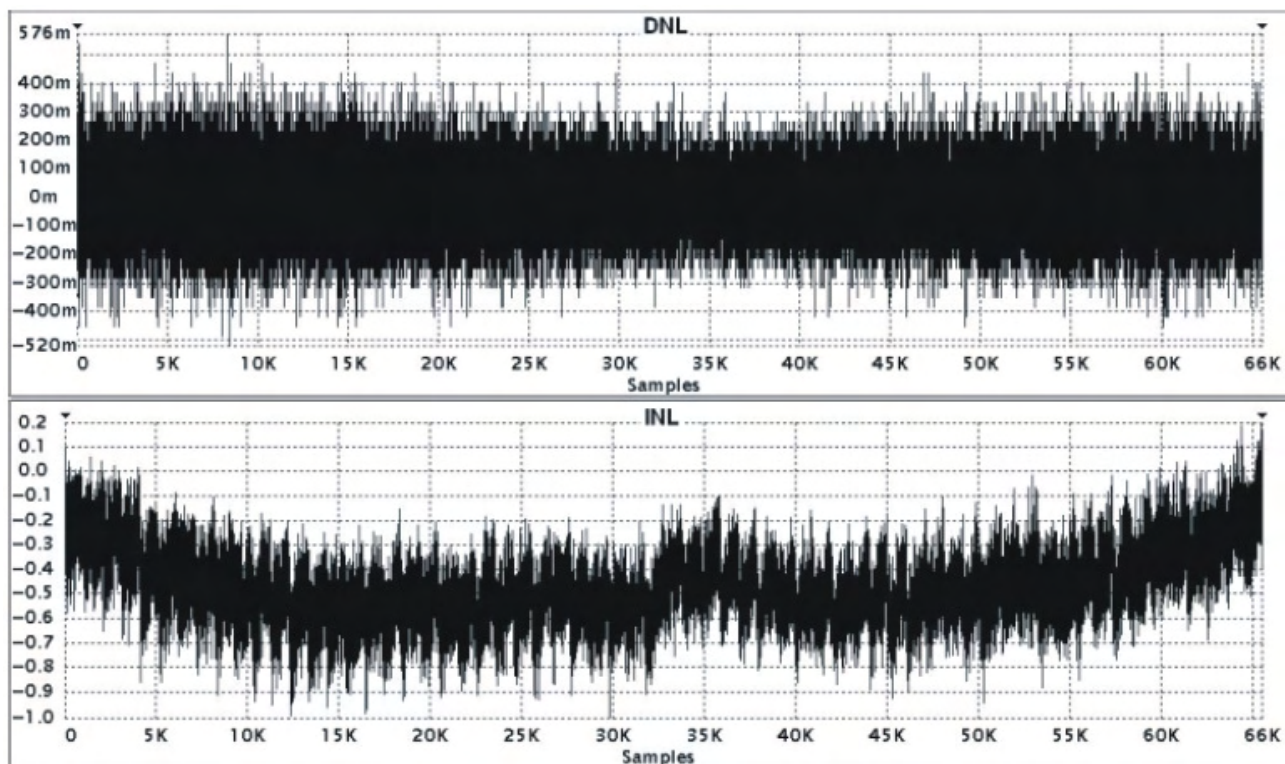


図 8 ADS8318: 標準的なリニアリティのグラフ (差動構成)

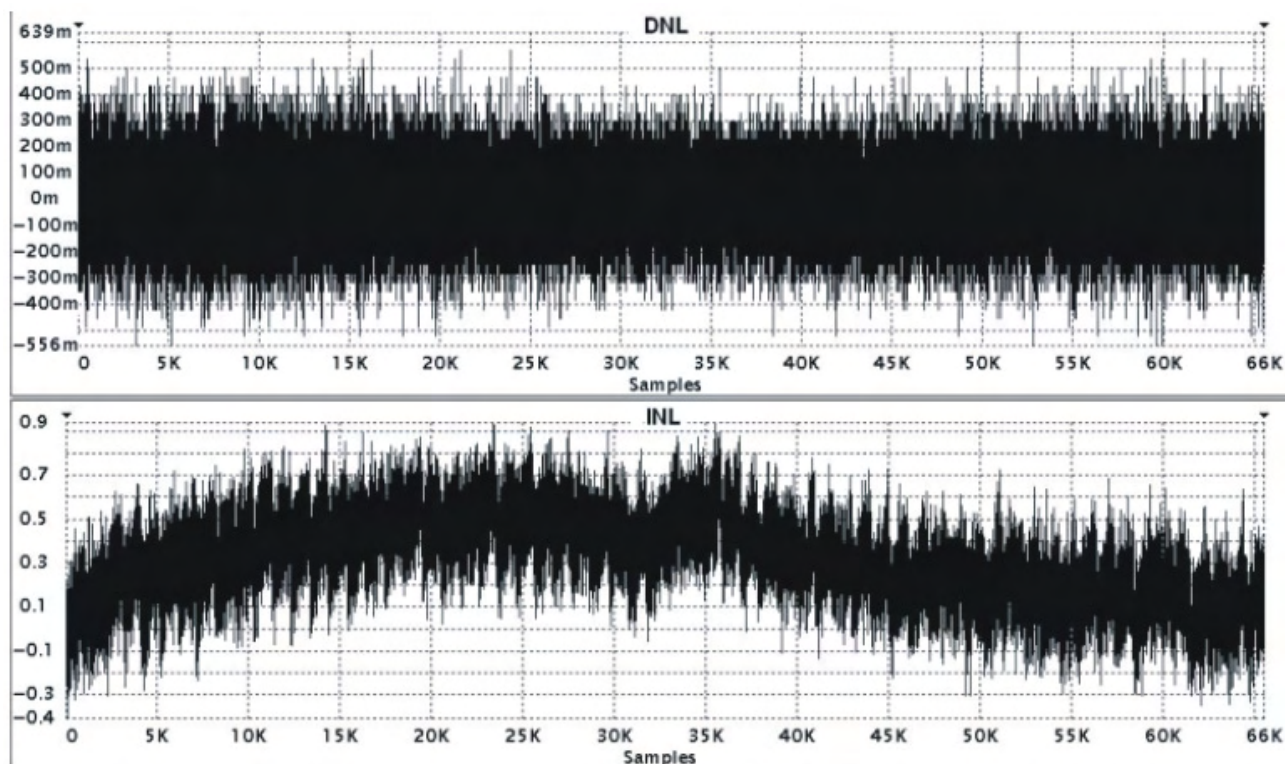


図 9 ADS8318: 標準的なリニアリティのグラフ (シングルエンド構成)

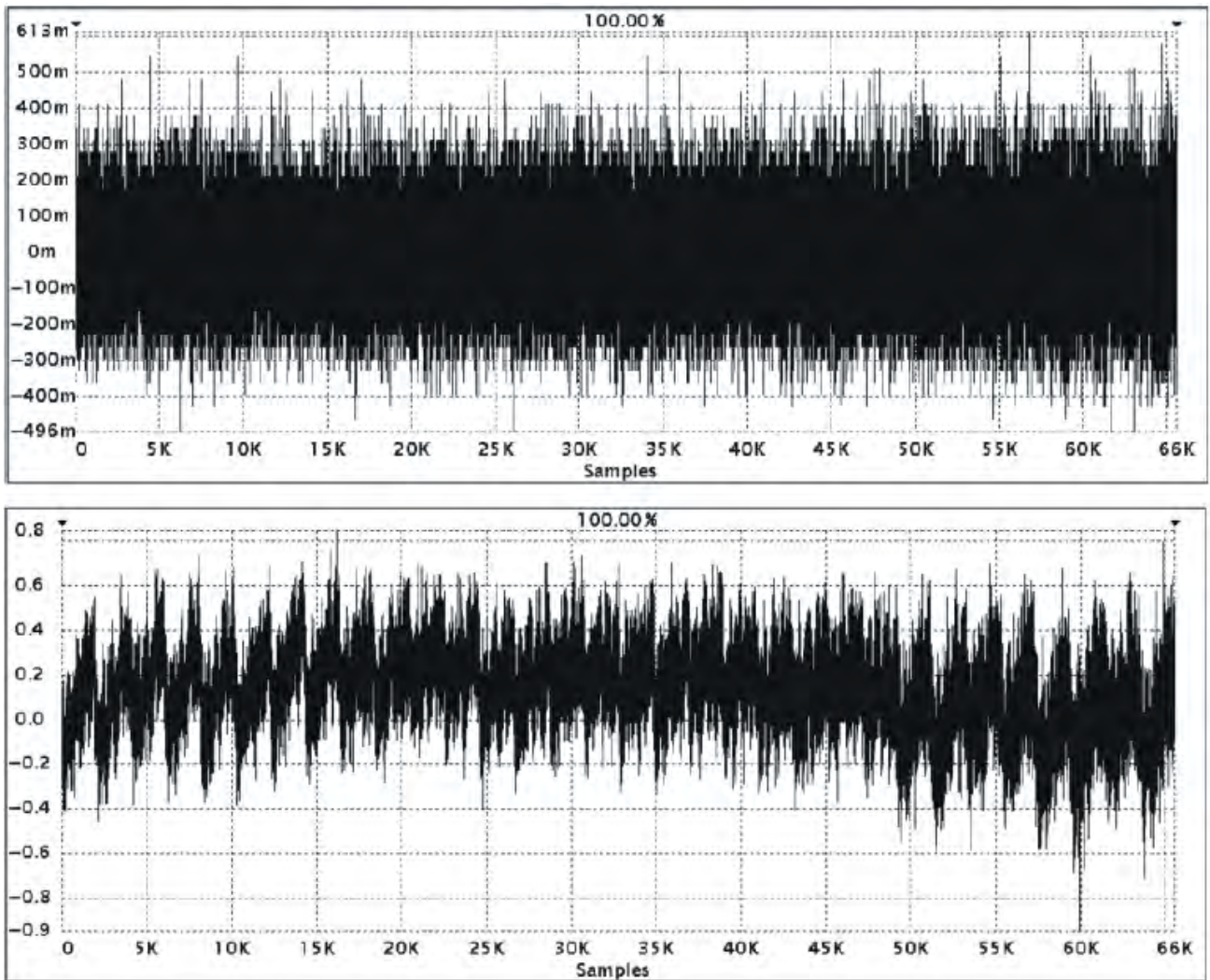


図 10 ADS8319: 標準的なリニアリティのグラフ

表1に、図4と図6の回路で使用された部品について、おのおの数個から得られた、平均電力の標準値を示します。

表 1 平均電力の標準値

回路	ADC	入力ドライバ・オペアンプ(THS4281)	REF5050	リファレンス・バッファ(THS4281)	総合電力
ADS8318 差動 (図4)	20 mW	$2 \times 0.8 \text{ mA} \times 7.3 \text{ V}$ = 11.68 mW	$0.8 \text{ mA} \times 7 \text{ V}$ = 5.6 mW	$1 \text{ mA} \times 7 \text{ V} = 7 \text{ mW}$	44.28 mW
ADS8319 (図6)	20 mW	$0.8 \text{ mA} \times 7.3 \text{ V}$ = 5.84 mW	$0.8 \text{ mA} \times 7 \text{ V}$ = 5.6 mW	$1 \text{ mA} \times 7 \text{ V} = 7 \text{ mW}$	38.44 mW

テスト条件: ADC: +VA = 5V、+VBD = 5V、VREF = 5V、スループット = 500kSPS、T = 300° K、

入力信号周波数 = 1.9kHz

オペアンプ: VDD = 7V、VEE = -0.3V

表2は差動回路構成(図4参照)において得られた結果のまとめであり、表3はシングルエンド回路(図5と図6参照)での結果を示しています。

表 2 差動回路構成(図4)における性能比較

パラメータ	データ・シートの 限界値	THS4031を使用した ADS8318	THS4281を使用した ADS8318
DNL _{MAX}	< 1	0.33	0.47
DNL _{MIN}	> -1	-0.34	-0.52
INL _{MAX}	< 1.5	0.35	0.33
INL _{MIN}	> -1.5	-0.59	-0.68
SNR	> 95.5 dB	96.0 dB	95.5 dB
THD	-114 dB (typ)	-118 dB	-114 dB
SFDR	116 dB (typ)	121 dB	117 dB
SINAD	96 dB (typ)	96.0 dB	95.4 dB
回路の総消費電力	—	315.6 mW (図4の場合)	44.28 mW (図4の場合)

表 3 シングルエンド回路構成 (図5と図6)における性能比較

パラメータ	データ・シートの 限界値	THS4031を使用した ADS8319	THS4281を使用した ADS8318	THS4281を使用した ADS8319
DNL _{MAX}	< 1.5	0.54	0.64	0.65
DNL _{MIN}	> -1	-0.5	-0.56	-0.53
INL _{MAX}	< 2.5	0.62	0.94	0.83
INL _{MIN}	> -2.5	-0.95	-0.4	-0.65
SNR	> 92 dB	93.9 dB	92.5 dB	92.5 dB
THD	-111 dB (typ)	-113 dB	-113 dB	-113 dB
SFDR	113 dB (typ)	115 dB	115 dB	115 dB
SINAD	93.8 dB (typ)	93.8 dB	92.4 dB	92.4 dB
回路の消費電力	—	205.6mW (図6の場合)	55mW (図5の場合)	38.44mW (図6の場合)

5 ステップ入力のセトリング

複数の信号チャネルのサンプリングが必要になる用途（入力の時分割処理を行うなど）の場合は、回路のステップ・レスポンスが重要になります。図6の回路のレスポンスは、ステップ入力5Vにおける評価結果です。

シミュレーション結果を図11に示します。帰還パスに静電容量C1(1nF)が存在するために、THS4281の出力にオーバーシュートが見られます。THS4281の出力はその後で、 $0.54 \mu\text{s}$ 以内で18ビット精度(基準電圧5V換算では $20 \mu\text{V}$ 以内)にセトリングします。ADS8319のIN+ピンでの電圧は、 $1.57 \mu\text{s}$ 以内で18ビット精度にセトリングします。

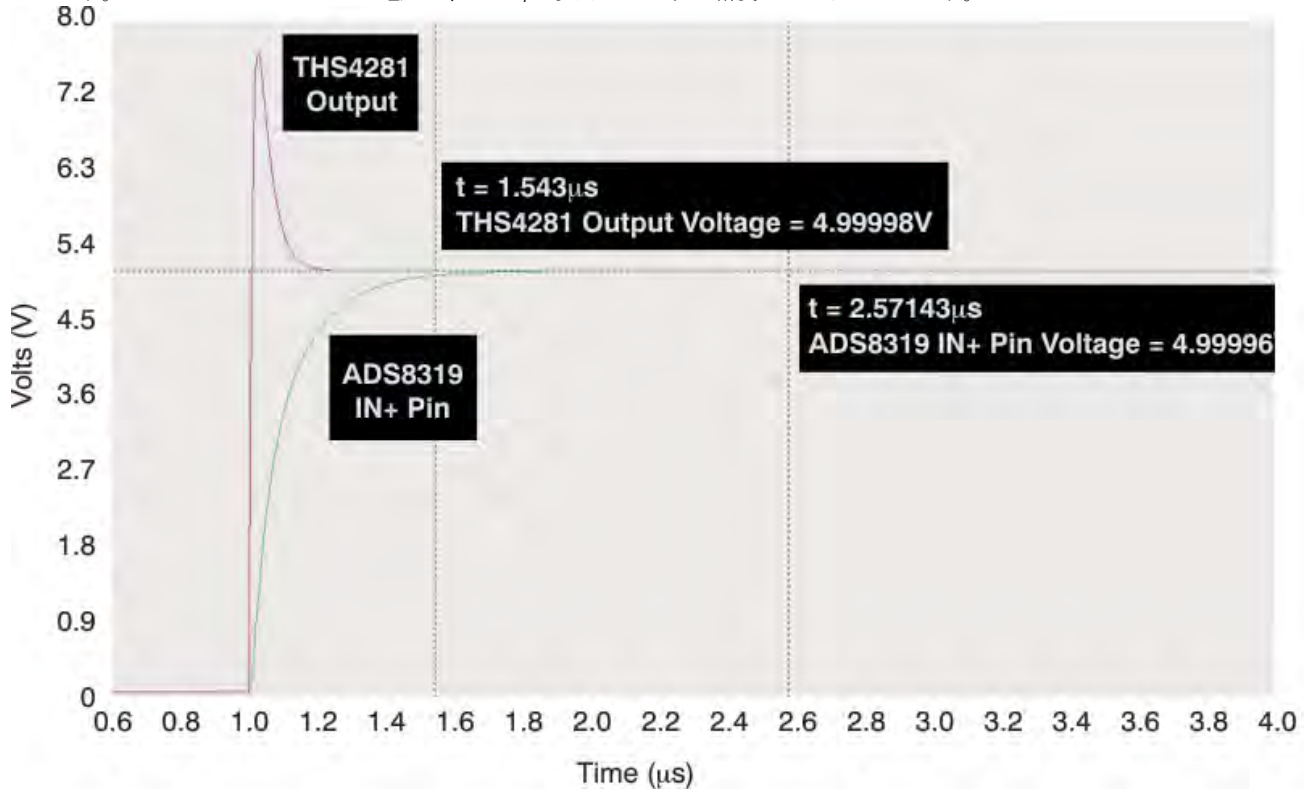


図 11 図6の回路のステップ入力レスポンス

入力ドライバ回路(図6参照)の伝達関数から、次のようになります。

- ・ 発振の自然周波数 (ω_n) = $47.55 \times 10^6 \text{ rad/s}$
- ・ 減衰比(ζ) = 0.521
- ・ セトリング時間(確度18ビットの場合は、THS4281の出力) = $0.51 \mu\text{s}$
- ・ 確度18ビットにセトリングするために、ADS8319のIN+ピンでの電圧に必要なセトリング時間
= $12.5 \times (2 \times 20\Omega) \times 3.3 \text{ nF} = 1.65 \mu\text{s}$

したがって、シミュレーションと計算された数値から得られた数値は、当然の結果として一致します。ADS8319のIN+ピンでの電圧が18ビット精度にセトリングするための時間は、 $1.65 \mu\text{s}$ 以下でなければなりません。ワースト・ケースのシナリオとして、変換時間($1.4 \mu\text{s}$)の最後でステップ入力に変化した場合を考えると、ADCの総サイクル時間は $1.4 \mu\text{s} + 1.65 \mu\text{s} = 3.05 \mu\text{s}$ となります。 $3.05 \mu\text{s}$ は、スループット333Kspsに対応しています。したがって図6の回路(図4と図5の回路も同様)におけるワースト・ケースのステップ入力では、最大速度は333 kSPに制限されます。

6 オペアンプ選定のためのクイック・ガイド

図12は、THS4281の動作領域です。この動作領域では、ADS8318とADS8319を使用しながらオペアンプが非常に良好に動作しています。ただし、ステップ入力により300kSPSより大きいスループットでこれらのADCを動作させる場合は、OPA365またはTHS4031を使用する必要があります。この構成には、所要の性能を達成するための電力消費がどうしても増大するというデメリットが伴います。図12では、THS4281と比較したOPA365とTHS4031の消費電力も示しています。

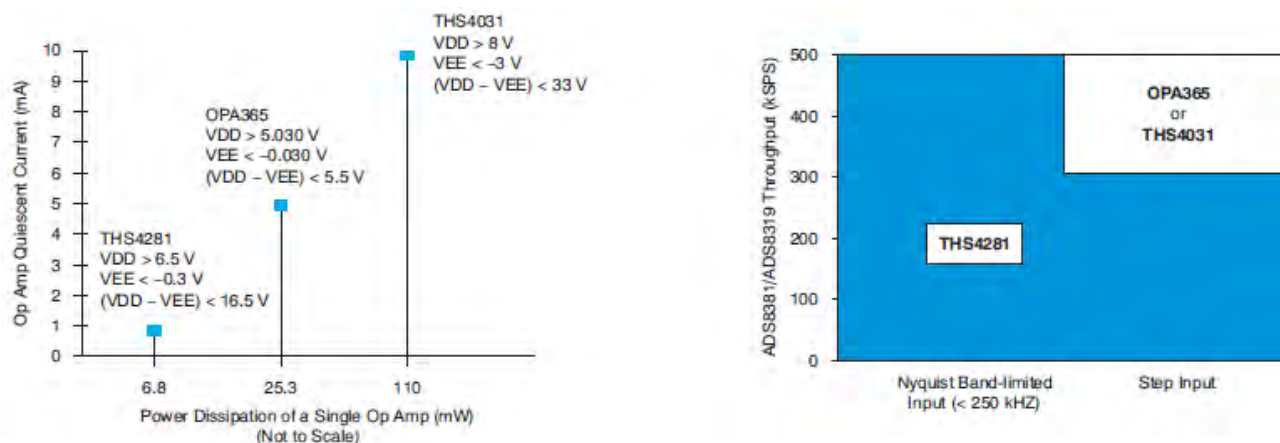


図 12 THS4281の動作領域と消費電力の比較

前述の回路(図4、図5、図6参照)の入力ドライバとして OPA365またはTHS4031のどちらかを使用する場合は、回路部品のある程度の変更を加える必要があります。これらの変更のまとめを、表4に示します。

表 4 THS4031またはOPA365を入力ドライバとして使用する場合に必要な変更

部品	THS4281	THS4031	OPA365
R ₁	49.9 Ω	実装されていません	実装されていません
C ₁	1 nF	実装されていません	実装されていません
C	3.3 nF	1 nF	1 nF
VDDの最小値	6.5 V	8 V	5.030 V
VEEの最大値	-0.3 V	-3 V	-0.030 V
最大許容値(VDD-VEE)	16.5 V	33 V	5.5 V

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上