

# 産業電力計測用データ・コンバータ

## 概要

現代の産業用アプリケーションはノイズ発生源で満ちあふれています。望ましくないノイズは、このような環境での電力計測や回路保護に関する主要な問題のひとつをもたらしています。したがって、ノイズ源の特性を知り、その動作を理解することは、電子回路の設計者およびユーザーにとって有益です。本アプリケーション・レポートは、次の2

つの主題について議論します。まず、本レポートの前半は電子ノイズの基本的な概念について定義し、後半ではアナログ・トゥ・デジタル・コンバータ(ADC)とともに使用されるフィルタの選定と設計について述べます。また、ADS8364と専用トランスを用いた電圧および電流計測の設計例を、数式と実験結果とともに提供します。

## 内容

ノイズの種類.....	2
差動信号用のノイズ・フィルタ設計.....	3
シングルエンド信号用のノイズ・フィルタ設計.....	4
計測結果.....	5
結論.....	9

## 解説図

図1. 代表的なノイズ源.....	2
図2. ADS8364の代表的な電力計測アプリケーション回路(差動信号).....	3
図3. 等価差動および同相フィルタの周波数応答.....	4
図4. ADS8364の代表的な電力計測アプリケーション回路(シングルエンド信号).....	4
図5. 表1によるフィルタ・コンデンサ $C_1$ の関数としてのAC特性曲線.....	6
図6. 表1によるフィルタ・コンデンサ $C_1$ の関数としてのTHDおよび高調波歪み.....	6
図7. ADS8364の4096ポイントのFFT結果(図2の差動入力フィルタ回路を最適化).....	7
図8. 表2によるフィルタ・コンデンサ $C_1$ の関数としてのAC特性曲線.....	8
図9. 表2によるフィルタ・コンデンサ $C_1$ の関数としてのTHDおよび高調波歪み.....	8
図10. ADS8364の4096ポイントのFFT結果.....	9

## ノイズの種類

電子回路におけるノイズは、電磁干渉 (EMI)、高周波干渉 (RFI)、およびグランド・ループによって引き起こされることが最も多いです。交流電力の観点からすると、同相ノイズはニュートラルとグランド導体間のノイズ信号になります。この種の信号干渉は、ライン (ホットとも言う) とニュートラル導体間に見られるノーマルモード・ノイズ (以下、差動ノイズ) とは異なります。

同相ノイズのインパルスは、それに関連する差動ノイズ信号よりも高周波の傾向があります。同相ノイズ信号の大半が差動ノイズ信号間の容量結合により発生することから、この傾向の特性は予想されます。動作周波数が増加するにつれ、ライン、導体、ニュートラルおよびグランド間の結合は増加します。電子装置は同相ノイズに対して差動ノイズよりも10から100倍も敏感です。

パワー・ライン (以下、電源ライン) に存在するノイズは、あらゆる時点で驚くべき量になります。このノイズの発生源は、建物の内部および外部における電気分配システムにより生じます。このノイズ自体は、電源ラインで常に変化

する負荷により生ずる、電源ラインの動的な性質の結果です。図1に電源ラインに見られる代表的なノイズを示します。

簡便なパワー・トランスや絶縁トランスでは、差動ノイズのインパルスを阻止できません。しかし、これらのトランスの2次側でニュートラルをグランドに接続すると、差動ノイズが同相ノイズに変換されます。マイクロエレクトロニクス回路 (微小電子回路) の観点からすると、同相ノイズは場合によっては差動ノイズより有害です。

電力計測のようなデータ・アキュジション (データ収集) システムでは、差動入力型ADCの利点を採用してノイズの影響を低減できます。すなわち、インピーダンスを平衡させることで、差動入力型ADCにより除去できる同相信号にノイズ源を変換できます。

差動信号は大部分の産業用アプリケーションにより適しています。差動信号を測定すると、同相ノイズは完全に除去されないまでも劇的に低減します。産業用や高ノイズのアプリケーション向けに、テキサス・インスツルメンツから数個のパー・ブラウン製品が、完全差動信号パスの使用による最大限の利点を設計者に提供するために製造されています。

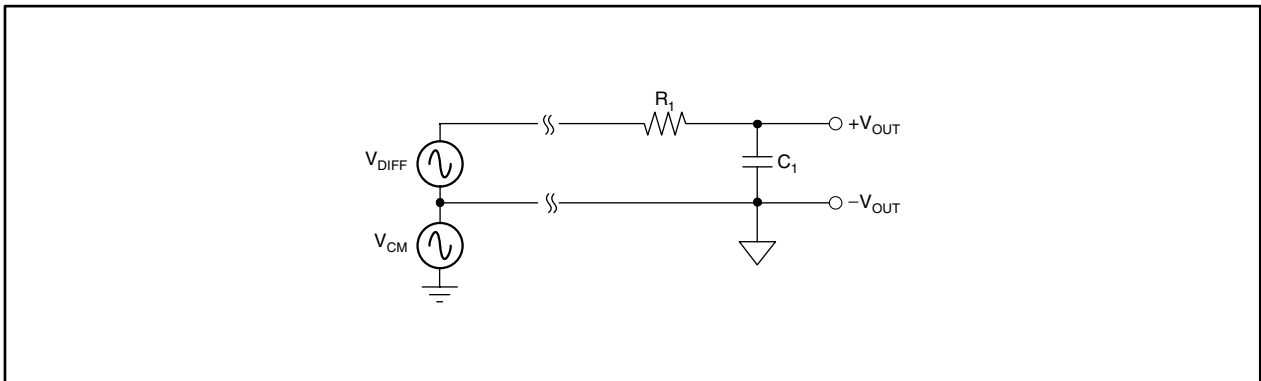


図 1. 代表的なノイズ源

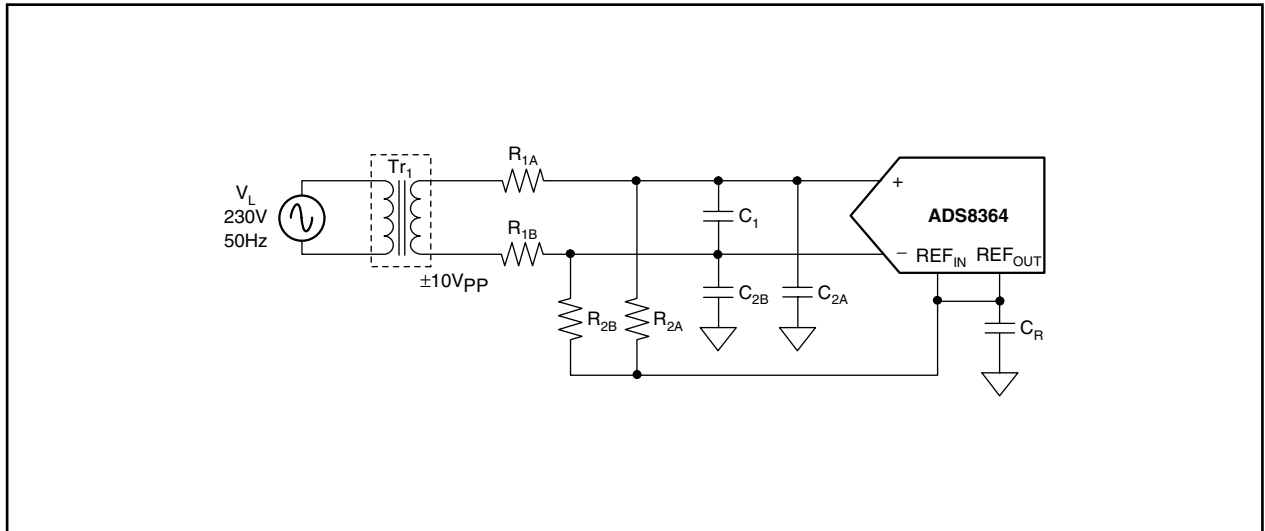


図 2. ADS8364の代表的な電力計測アプリケーション回路(差動信号)

## 差動信号用のノイズ・フィルタ設計

高ノイズの環境におけるアプリケーション用に特に設計されたADCのひとつが、ADS8364です。その入力信号範囲は $2.5V \pm 2.5V$ です。例えば産業用電力計測の場合、電圧測定トランスの出力は一般に $\pm 10V$ です。したがって、計測トランス出力をADCに印加する前に、出力信号を分圧するとともに、コンバータの差動入力範囲に適合するようにオフセットする必要があります。

図2の抵抗 $R_{2A}$ および $R_{2B}$ は、トランス $T_{r1}$ からの出力信号をADCの基準電圧( $V_{REF}$ )付近にオフセットします。 $R_{1A}$ および $R_{2A}$ の抵抗網は $R_{1B}$ および $R_{2B}$ とともに、差動入力信号をADCのフルスケール範囲(FSR)に分圧します。その分圧率すなわちこの抵抗網のゲインを式(1)に示します。この回路を適正に作動させるには、抵抗 $R_{1A}$ および $R_{1B}$ は値が等しくなければならず、抵抗 $R_{2A}$ および $R_{2B}$ も同様に等しい値でなければなりません。このとき、差動および同相信号の減衰は等しくなります。

$$G_{DIFF} = G_{CM} = \frac{R_{2A}}{R_{1A} + R_{2A}} = \frac{R_{2B}}{R_{1B} + R_{2B}} \quad (1)$$

抵抗 $R_{1A}$ および $R_{1B}$ は、信号源の重い負荷にならないように十分な高インピーダンスである必要があります。また、それらは入力過負荷保護にもなり、ADC入力を外部の過大な信号源から分離します。

この次の段階は、ローパスフィルタを実装し、ADCに印加する差動信号からノイズをフィルタリングすることです。ADCの(+ )および(- )入力間にコンデンサ $C_1$ を付加すると、差動フィルタが生成されます。

最終的に、発生した同相信号は抵抗分圧回路で減衰し、次に実装したRCフィルタでさらに減衰することになります。同相信号の遮断周波数は式(2)で計算できます。

$$\begin{aligned} BW_{CM} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{R_{1A} \cdot R_{2A}}{R_{1A} + R_{2A}} \cdot C_{2A}} \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{R_{1B} \cdot R_{2B}}{R_{1B} + R_{2B}} \cdot C_{2B}} \end{aligned} \quad (2)$$

このフィルタの-3dB差動帯域幅は式(3)で表されます。

$$BW_{DIFF} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2 \cdot R_{1A} \cdot R_{2A}}{R_{1A} + R_{2A}} \cdot \left( C_1 + \frac{C_{2A}}{2} \right)} \quad (3)$$

同相信号用のフィルタ時定数間に少しでも不整合があると、入力ブリッジが不平衡になり、高周波同相信号の除去が低減します。しかし、ブリッジ出力間に接続されたコンデンサ $C_1$ が、ブリッジ部品の不整合によるAC同相信号除去の誤差を効果的に低減します。

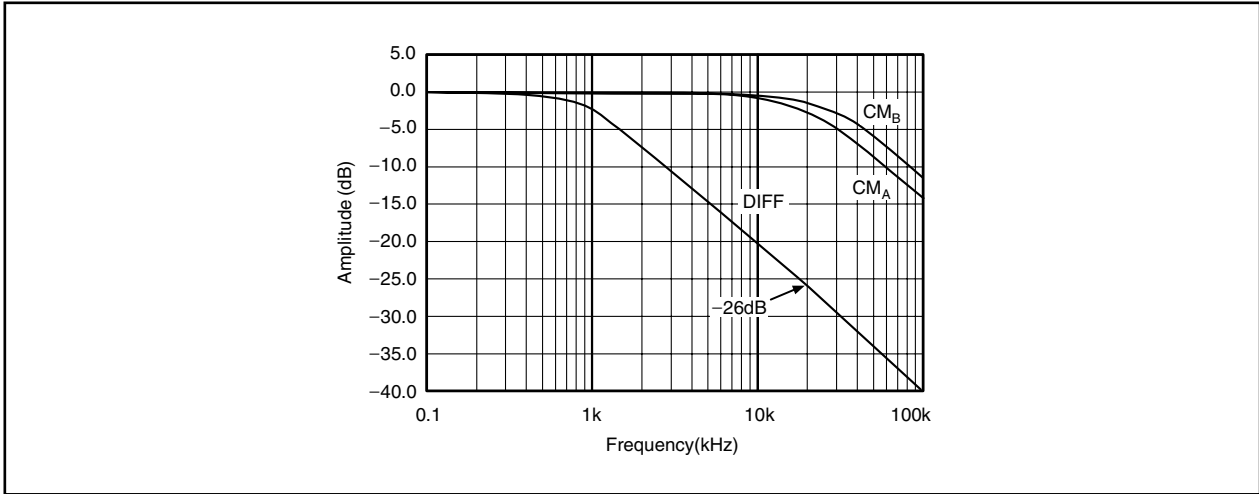


図 3. 等価差動および同相フィルタの周波数応答

例えば  $C_1$  の値を  $C_{2A}$  あるいは  $C_{2B}$  の 10 倍以上にすると、 $C_{2A}$  と  $C_{2B}$  の不整合により生じる同相信号除去誤差を 20 倍低減します。図 3 は、差動フィルタおよび整合していない同相フィルタの周波数応答を示します。上記の例では、1 番目の同相フィルタの遮断周波数にて差動フィルタは  $-26\text{dB}$  減衰しています。したがって、2 つの同相フィルタ間の  $-3\text{dB}$  帯域幅における差異は、 $-26\text{dB}$  減衰されることになります。

## シングルエンド信号用のノイズ・フィルタ設計

同相ノイズが問題にならない場合は、差動信号はシングルエンド信号に置き換えられます。シングルエンド構成では、トランスの一方の側をグランドに接続します。その他

方の側は信号源として働きます。先の例と同様にトランスの出力信号は  $\pm 10\text{V}$  であり、それを分圧して ADS8364 の差動入力と整合させる必要があります。図 4 の抵抗網は入力信号を分圧およびオフセットし、フルスケール範囲 (FSR) を  $0\text{V}$  から  $5\text{V}$  にします。

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  および  $R_4$  の抵抗網は、シングルエンド入力信号を ADC の FSR に分圧します。この抵抗網の分圧率 (すなわちゲイン) は、先の例と等しい必要があります。したがって、この回路を適切に作動させるには、 $R_1$ 、 $R_2$  および  $R_4$  が等しく、かつそれぞれの値が抵抗  $R_3$  の 2 倍でなければなりません。

次の段階は、ADC に印加されるシングルエンド信号からノイズをフィルタリングするため、ローパス・フィルタを実装することです。コンデンサ  $C_1$  を ADC の (+) 入力とグランドに挿入すると、そのローパス・フィルタが形成されます。

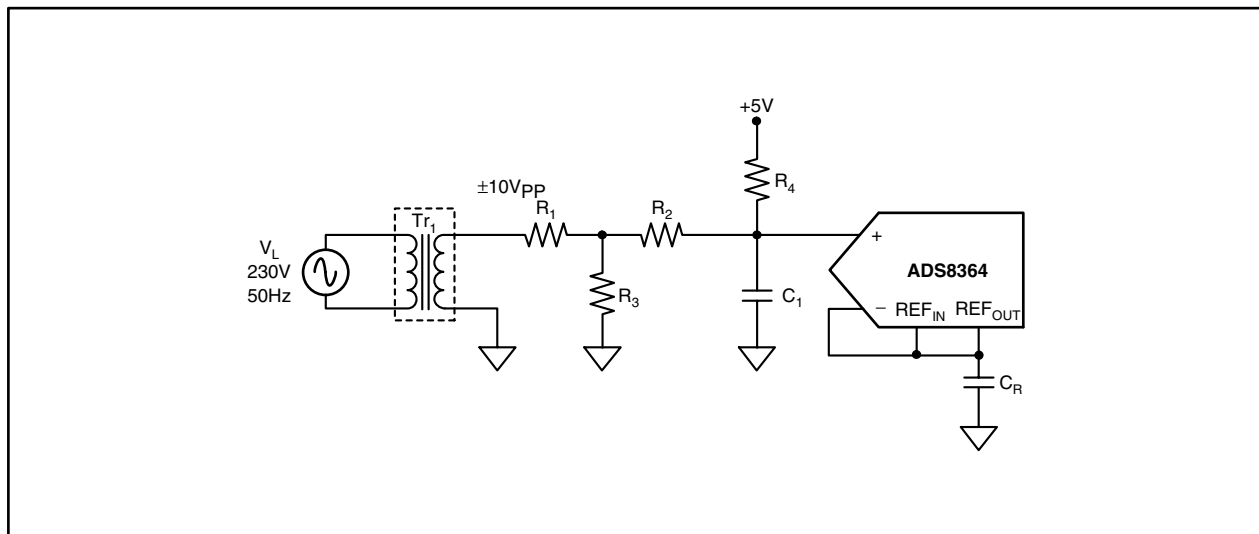


図 4. ADS8364 の代表的な電力計測アプリケーション回路 (シングルエンド信号)

## 計測結果

ADS8364を3.8MHzのクロックで動作させて計測を行いました。サンプリング・レートは38kHzです。これらの条件により、変換時間は4.47 $\mu$ sおよびアキュジション・タイムは21.84 $\mu$ sになりました。また、差動信号に関しては、抵抗の値を $R_{1A}$ と $R_{1B}$ は4k $\Omega$ 、および $R_{2A}$ と $R_{2B}$ は1.3k $\Omega$ に選択しました。これらの抵抗値によるゲインは0.245になります。したがって、 $\pm 10V$ のトランス出力電圧は、フルスケールでADC入力の4.9Vになります。コンデンサ $C_1$ の値は0から3.3nFまで変えました。

シングルエンド信号に使用するADCにも同じ動作条件を適用して、それぞれの抵抗値を $R_1$ 、 $R_2$ および $R_4$ は6.48k $\Omega$ 、

$R_3$ は3.24k $\Omega$ にしました。これらの抵抗値によるゲインは0.250になります。したがって、 $\pm 10V$ のトランス出力電圧は、フルスケールでADC入力の5Vになります。コンデンサ $C_1$ の値は0から1.8nFまで変えました。

ここで、次のことを理解することが極めて重要です。すなわち、等価抵抗 $R$ と $C_1$ による入力フィルタの時定数が、ADCのサンプリング時間の1/5を超えてはなりません。それ以上の時定数では、特性の低下が予想されます。

以上の計測を実施し、その結果を解析しました。表1に差動信号の計測結果を示します。また、図5と図6に表1の計測データをグラフ表示します。

Capacitor (nF)			AC Performance				Harmonics			
$C_1$	$C_{2A}$	$C_{2B}$	SNR	SINAD	SFDR	THD	3rd	5th	7th	9th
0.00	0.00	0.00	84.8	83.7	90.6	-90.0	-90.6	-102.3	-102.4	-114.1
0.56	0.00	0.00	85.3	84.8	98.2	-94.3	-98.2	-98.5	-101.0	-122.0
1.00	0.00	0.00	85.3	84.9	98.1	-94.8	-98.1	-99.8	-101.6	-122.8
1.20	0.00	0.00	85.5	85.0	98.4	-94.7	-98.7	-99.2	-101.1	-115.5
1.50	0.00	0.00	85.3	84.9	98.2	-95.4	-99.6	-99.7	-101.8	-124.3
1.80	0.00	0.00	85.3	85.0	98.1	-96.3	-101.4	-100.4	-102.4	-110.1
2.20	0.00	0.00	85.3	84.9	97.9	-95.6	-103.1	-100.1	-100.5	-105.1
3.30	0.00	0.00	84.2	81.8	88.4	-85.6	-88.4	-92.3	-93.8	-96.7
1.80	0.18	0.18	86.0	85.6	100.4	-96.2	-101.6	-100.4	-101.6	-113.8

表 1. 図2の差動信号の計測実験データ

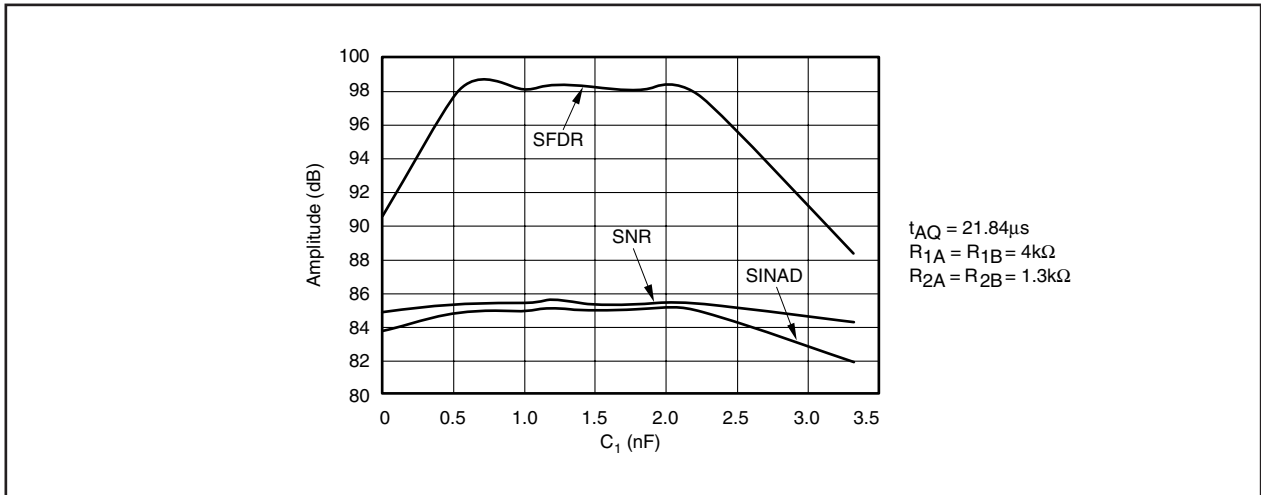


図 5. 表1によるフィルタ・コンデンサの関数としてのAC特性曲線

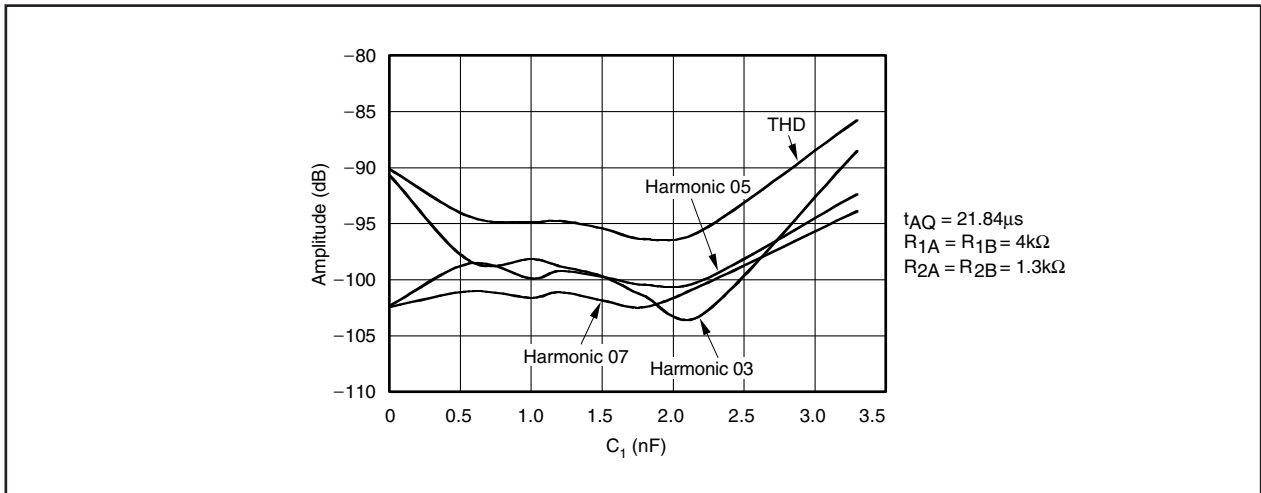


図 6. 表1によるフィルタ・コンデンサの関数としてのTHDおよび高調波歪み

上記の計測を先行した後、コンデンサ $C_{2A}$ および $C_{2B}$ を付けました。計測した最小THDは、 $C_1$ の値が大体2nFのときで

した。そこで、 $C_1$ を1.8nF、 $C_{2A}$ および $C_{2B}$ を0.18nFに選択すると、1.9nFの等価コンデンサが得られます。

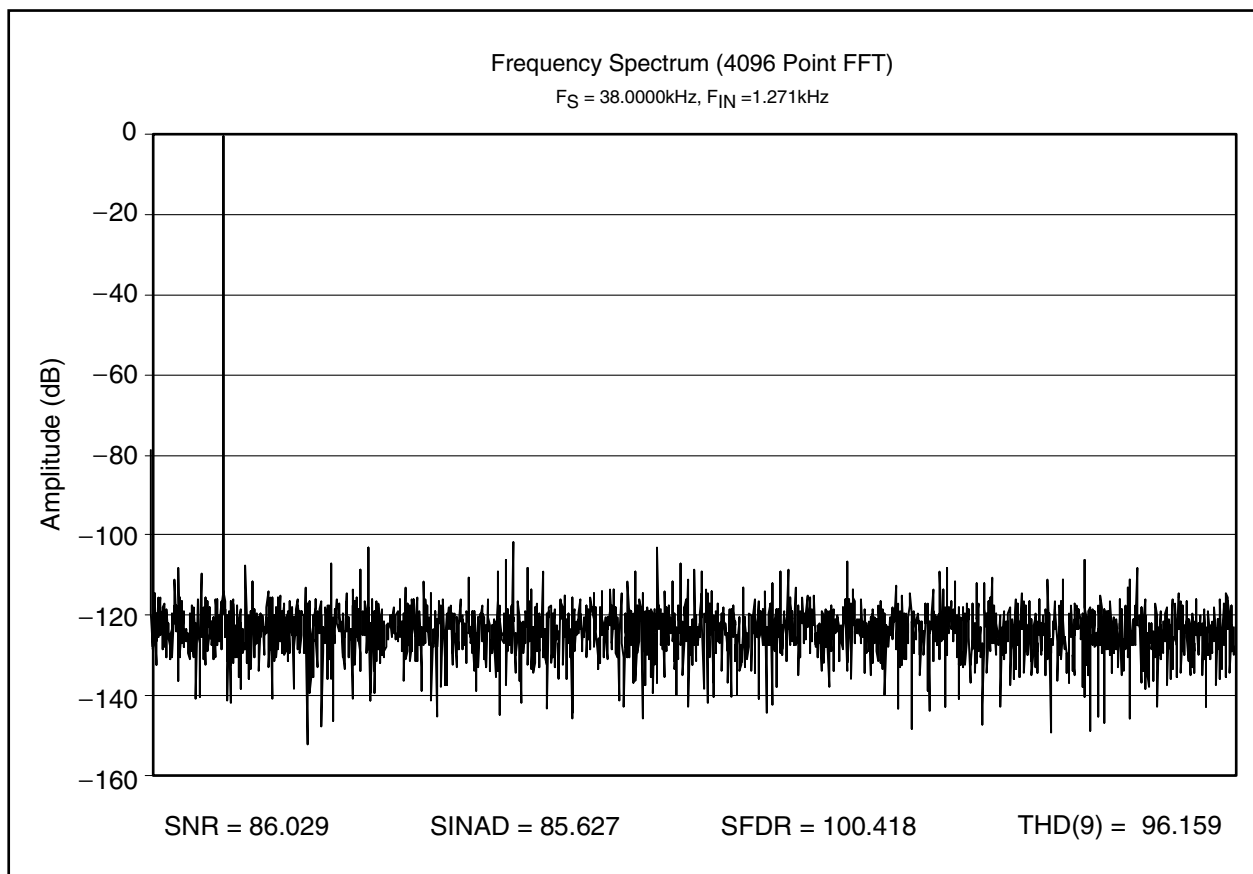


図 7. ADS8364の4096ポイントのFFT結果(図2の差動入力フィルタ回路を最適化)

同相信号フィルタ用のコンデンサ $C_{2A}$ および $C_{2B}$ を付加すると、SNRが改善されます。それを付加した最終回路のFFT結果を図7に示します。

同様の計測を図4の回路を使用して実施します。その結果をシングルエンド信号について表2に示します。また、表2の計測データを図8および図9にグラフ表示します。

Capacitor (nF)	AC Performance				Harmonics				
	C <sub>1</sub>	SNR	SINAD	SFDR	THD	2nd	3rd	5th	7th
0.00		83.37	82.26	92.55	-88.74	-92.55	-108.11	-92.91	-97.49
0.15		85.67	84.67	95.93	-91.57	-95.93	-100.81	-96.42	-100.82
0.33		85.96	84.86	95.65	-91.35	-95.65	-100.10	-96.36	-100.65
0.51		85.77	84.66	95.57	-91.12	-95.57	-99.42	-96.50	-100.27
0.68		86.09	85.00	95.64	-91.51	-95.64	-100.33	-96.83	-100.60
0.82		86.36	85.27	95.78	-91.83	-95.78	-102.92	-97.05	-99.91
1.00		86.35	85.05	95.00	-90.92	-95.00	-98.98	-96.65	-99.95
1.20		85.69	82.97	90.56	-86.30	-92.31	-90.56	-93.09	-96.16
1.50		83.50	77.94	81.92	-79.35	-88.49	-81.92	-86.76	-89.76
1.80		81.04	74.34	77.72	-75.39	-85.42	-77.72	-83.00	-85.76

表 2. 図4のシングルエンド信号の計測実験データ

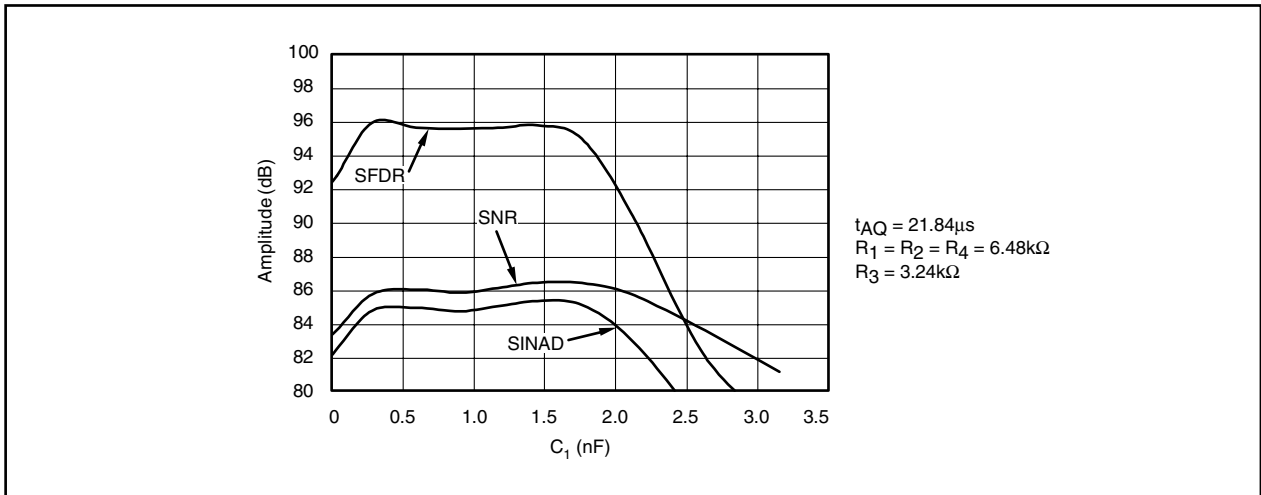


図 8. 表2によるフィルタ・コンデンサの関数としてのAC特性曲線

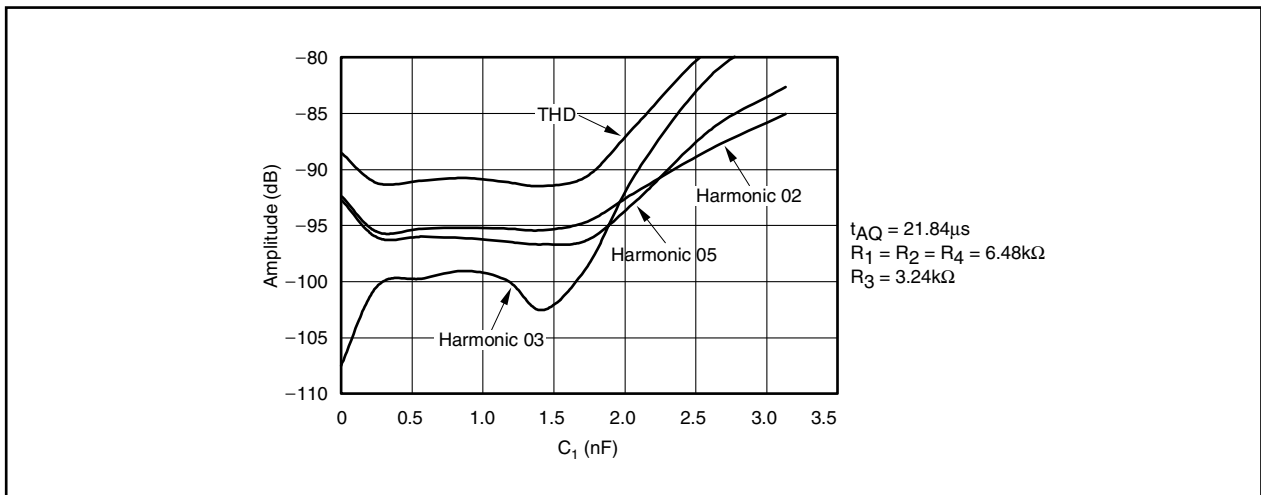


図 9. 表2によるフィルタ・コンデンサの関数としてのTHDおよび高調波歪み



シングルエンド回路のFFT結果を図10に示します。

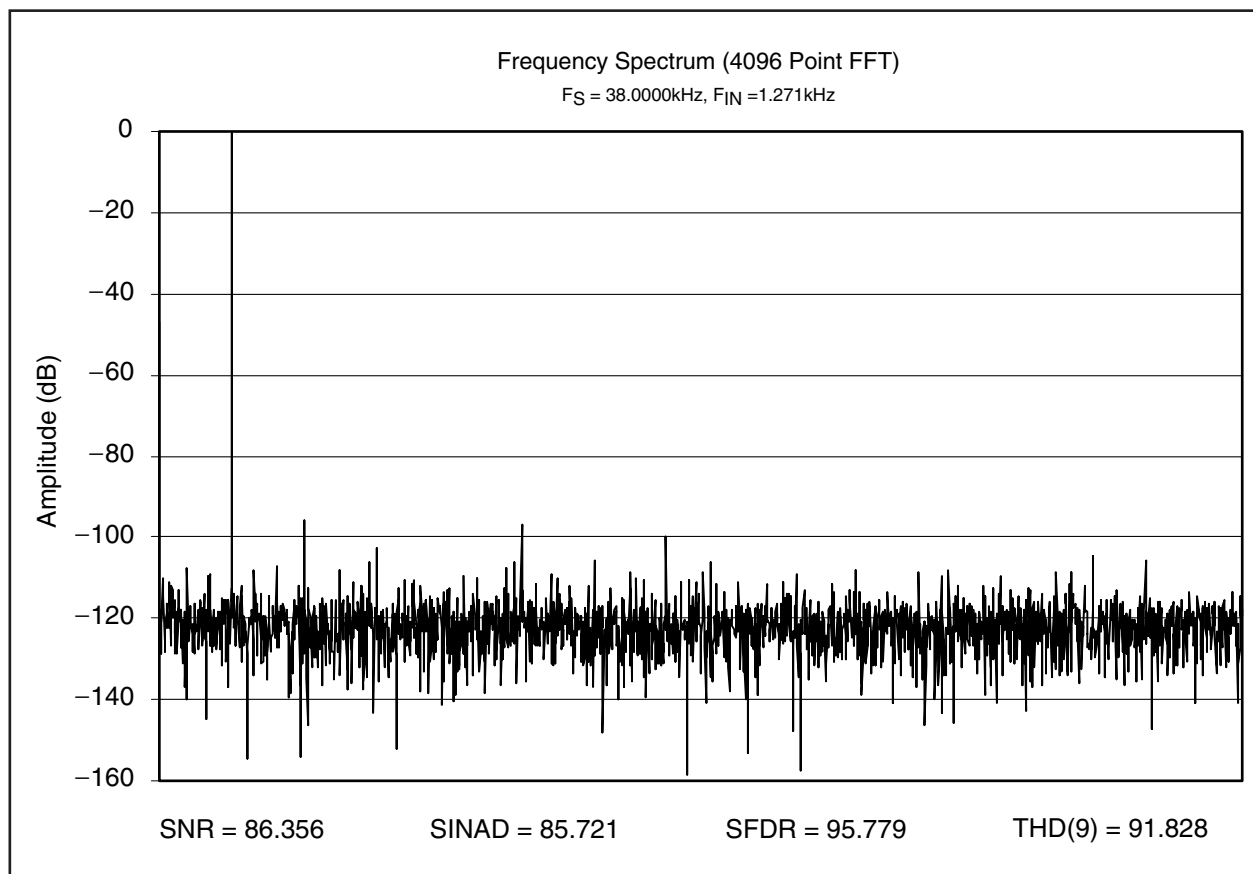


図 10. ADS8364の4096ポイントのFFT結果(図 4のシングルエンド入力フィルタ回路を最適化)

## 結論

上述の解析では、産業用途の電力計測に高性能なADCを実現する、単純かつ効果的な方法を示しました。ノイズ源および計測回路における遅延に関する理解は、最終設計の決定に不可欠です。適切なフィルタリングは有害な差動および同相ノイズを低減するだけでなく、ADCの最高性能における動作も可能にします。入力信号を適切に分圧およびオフセットする(同時にADC入力も保護する)入力抵抗分圧回路を選定した後、異なるコンデンサで数回の測定が必要です。これらのコンデンサはADC入力の帯域幅を低減し、SNR特性および有効ビット数を向上させます。また、これ

らのコンデンサの値は、ADCのサンプリングタイムだけでなく入力抵抗の値にも正比例します。本アプリケーションレポートでは、比較的高い信号源インピーダンスで動作するADCと適切に設計された差動フィルタにより、98dB以上のSFDR、および85dB以上のSNRでの-96dB以下のTHDという計測が可能であることを示しています。

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)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。従ひまして、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確認下さい。全ての製品は、お客様とTIとの間に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TIの標準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ひ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TIとの間で合意された保証条件に従ひ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おりません。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ことである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、且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、且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。

なお、日本テキサス・インスツルメンツ株式会社半導体集積回路製品販売用標準契約約款もご覧下さい。

<http://www.tij.co.jp/jsc/docs/stdterms.htm>

Copyright © 2005, 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。)

- 直射日光があたる状態で保管・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ひ基板実装すること。
  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