

お客様各位

---

## カタログ等資料中の旧社名の扱いについて

---

2010年4月1日を以ってNECエレクトロニクス株式会社及び株式会社ルネサステクノロジが合併し、両社の全ての事業が当社に承継されております。従いまして、本資料中には旧社名での表記が残っておりますが、当社の資料として有効ですので、ご理解の程宜しくお願ひ申し上げます。

ルネサスエレクトロニクス ホームページ (<http://www.renesas.com>)

2010年4月1日  
ルネサスエレクトロニクス株式会社

【発行】ルネサスエレクトロニクス株式会社 (<http://www.renesas.com>)

【問い合わせ先】 <http://japan.renesas.com/inquiry>

## ご注意書き

1. 本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。
2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連し発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。
4. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。本資料に記載されている当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途の目的で使用しないでください。また、当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器に使用することができません。
6. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されていない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。  
標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット  
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）  
特定水準： 航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等
8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないようお客様の責任において冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。
10. 当社製品の環境適合性等、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。
12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

# H8/300L SLP シリーズ

## A/D 変換器の詳細使用 (ADC)

### 要旨

デジタルシステムは、ほとんどの応用分野（家庭分野，測定分野，制御分野）において、よりいっそう使用されています。センサで測定される変動量（温度，圧力，光の強度）はアナログ値（連続値）です。A/D 変換器（ADC）はこれらの測定された信号をデジタル値に変換して、マイコンで処理できるようにします。

このアプリケーションノートでは SLP MCU の内蔵 A/D 変換器に焦点を当てます。一般的に，A/D 変換器は以下の 4 つの要素にもとづいて使用されます。

- チャンネル数
- 分解能
- 変換時間
- エラーレート

このアプリケーションノートでは以下の範囲を扱います。

- 一般的な A/D 変換器の構成と特性
- SLP A/D 変換器の特性
- A/D 変換器インタフェースの設計ガイドライン
- A/D 変換器の応用
- A/D 変換器への信号処理回路の設計ガイド

### 動作確認デバイス

H8/38024

### 目次

1. A/D 変換器の概要 .....	2
2. サンプリング原理 .....	3
3. A/D 変換器の誤差 .....	4
4. SLP MCU A/D 変換器の特長 .....	7
5. 信号の条件 .....	14
6. 参考文献 .....	18

1. A/D 変換器の概要

図 1 に A/D 変換器のブロック図を示します。

- 適切なセンサまたは変換器によって、物理的パラメータ（例：温度、圧力、流動量、等）を電気的な電圧や電流に変換します。
- センサまたは変換器の出力範囲がミリボルト範囲の場合、使用可能な範囲にするために増幅します。
- アクティブフィルタが不要な信号を削除します。
- サンプル&ホールド部は、アナログ入力電圧をサンプリングして、この電圧を出力にホールドして A/D 変換器への入力とします。
- A/D 変換器のブロックは、サンプリングした信号を N ビットのデジタルコードに変換します。基準範囲は  $2^N$  のレベルに分割されます。N ビットの出力コードはサンプリングした信号に最も近い基準レベルに対応します。

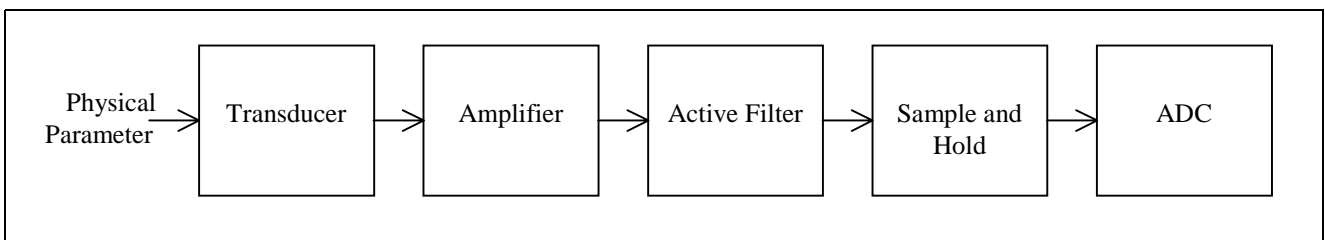


図 1 A/D 変換のブロック図

図 2 に実際の 3 ビット A/D 変換器の理想的変換機能を示します。ここで、特定の範囲内のアナログ入力制限された数のデジタル出力コードに変換されます。A/D 変換器の分解能は出力コードのビット数で表されます。たとえば、N ビットの分解能をもつ A/D 変換器は  $2^N$  のデジタルコードを持ちます。全範囲が  $2^N - 1$  ステップ幅に分割され（最初と最後のステップは  $\frac{1}{2}$  ステップ幅）で、各ステップ幅は以下のように定義されま

$$1 \text{ ステップ幅} = 1 \text{ 最下位ビット} = \frac{\text{FSR}}{2^n - 1}$$

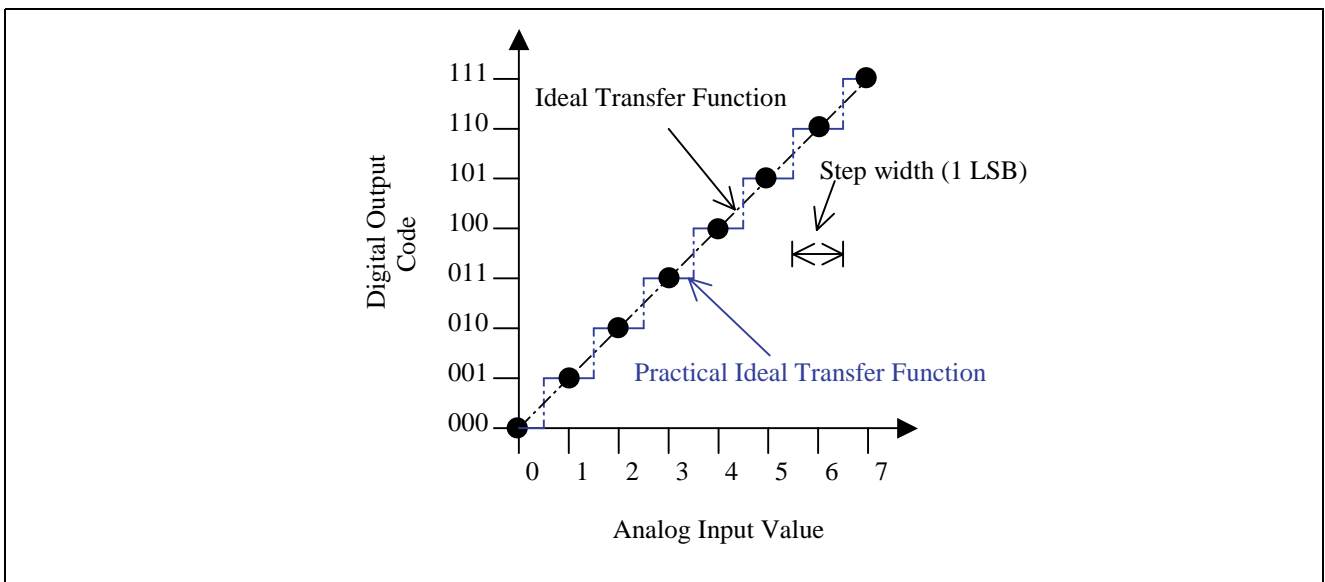


図 2 A/D 変換器の変換機能

2. サンプリング原理

連続したアナログデータを、離散した間隔 ( $t_s$ ) で、サンプリングします。そして、その間隔は、元の信号を正確に反映するよう慎重に選択しなくてはなりません。サンプリング回数が多くなると (サンプルレートがより高い場合)、デジタル表現はより正確になります。サンプリング回数が少なくなると、信号の情報が紛失するクリティカルポイントに到達します。

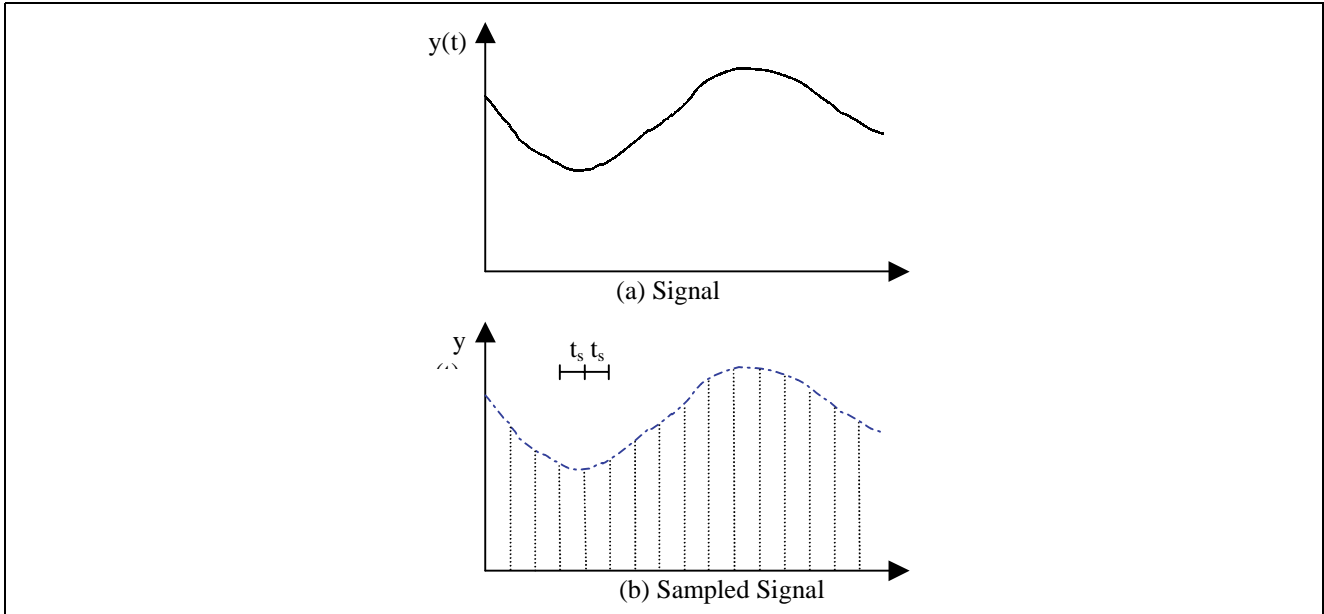


図3 サンプリング

シャノンのサンプリング定理によると、入力スペクトラムが  $f_s/2$  (ナイキスト周波数) より高い周波数成分を含まなければ、元の信号が歪みなしで復元できます。サンプリングレート  $f_s$  でアナログ信号  $f_a$  をサンプリングすると、エイリアス周波数成分  $n(f_s - f_a)$  および  $n(f_s + f_a)$  が生成されます。このとき、 $n = 1, 2, 3, \dots$  です。図4に示すように、入力信号がナイキスト帯域 ( $f_s/2$ ) を超えると、問題が起きます。帯域内の不要なエイリアスを防止するために、エイリアス防止フィルタを挿入しなければなりません。

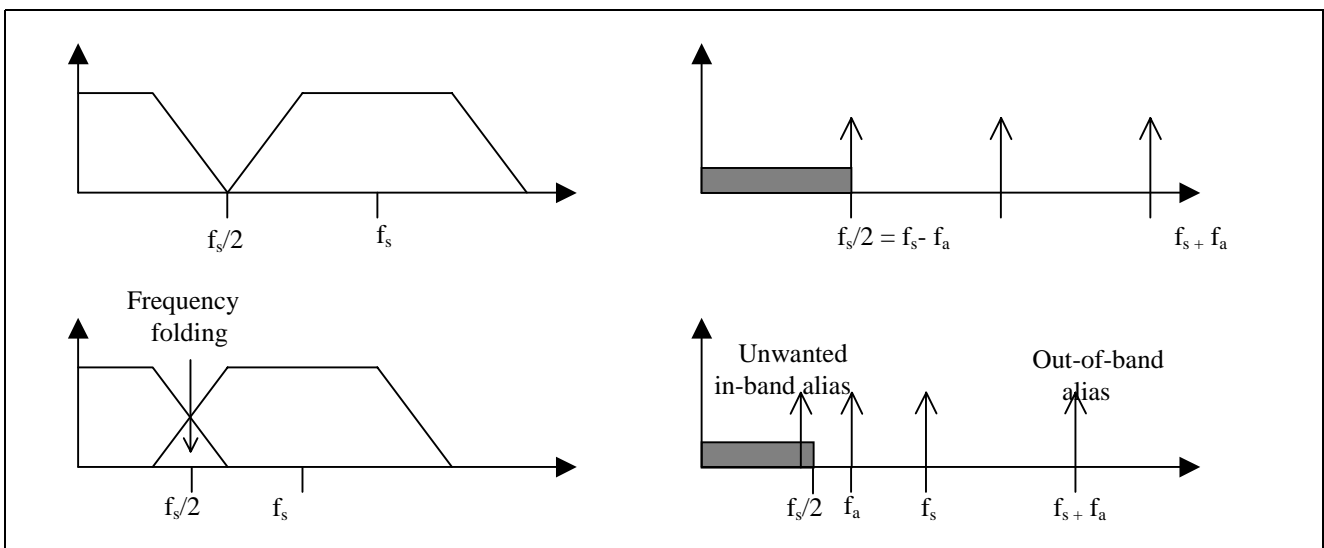


図4 周波数帯域のエイリアス効果

たとえば、オーディオ CD のサンプリング周波数を 44.1kHz に設定する理由は以下のとおりです。

- 音の周波数範囲は 20Hz から 20kHz まで。
- 最大入力周波数は  $f_a = 20\text{kHz}$ 。
- 最小サンプリング周波数は  $f_s \geq 2f_a = 40\text{kHz}$ 。
- 通過帯域から停止帯域へのロールオフを補正するため、サンプリング周波数は  $1.1f_s$  (44kHz) に設定 (図 5)。
- 1982 年頃には、VTR だけがそのような高いレートの周波数を格納可能。

関連テレビ規格：

- NTSC: 490 行/フレーム, 3 サンプル/行, 30 フレーム/s → 44100 サンプル/秒
- PAL: 588 行/フレーム, 3 サンプル/行, 25 フレーム/s → 44100 サンプル/秒

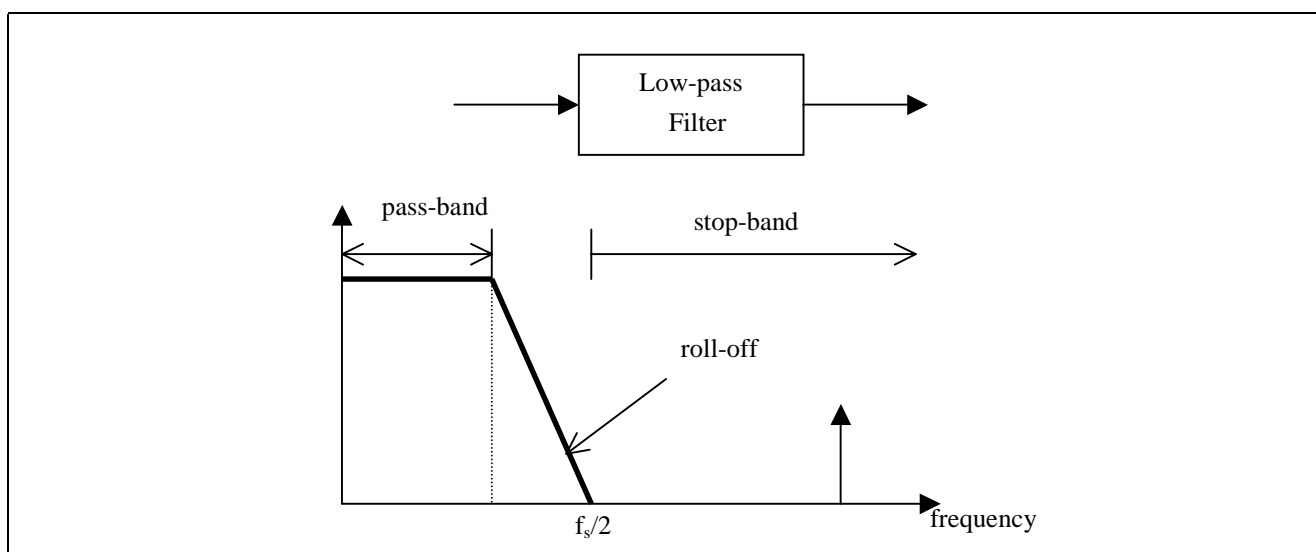


図 5 ローパスフィルタ

### 3. A/D 変換器の誤差

A/D 変換器の精度に影響する誤差は以下のとおりです。

- 量子化誤差
- 微分非直線性 (Differential Non-Linearity) 誤差
- 積分非直線性 (Integrated Non-Linearity) 誤差

絶対誤差は、所望コードの実際の遷移に対する理想的遷移からの最大偏差と定義され、上記のすべての種類の誤差の合計を含みます。

### 3.1 量子化誤差

A/D 変換器へのアナログ入力には、無限のあらゆる可能性のある状態の連続した信号です。一方、有限な数の個々のデジタルレベルが出力されます。アナログからデジタルへの変換の間、入力レベルの異なるアナログ信号の一部は、同じデジタル出力コードとして表現されます。この実際のアナログ値とその値のデジタル表現との間の相違点を量子化誤差と呼びます。これは LSB (最下位ビット) の  $\pm 1/2$  であり、A/D 変換器の処理に依存します。図 6 を参照してください。

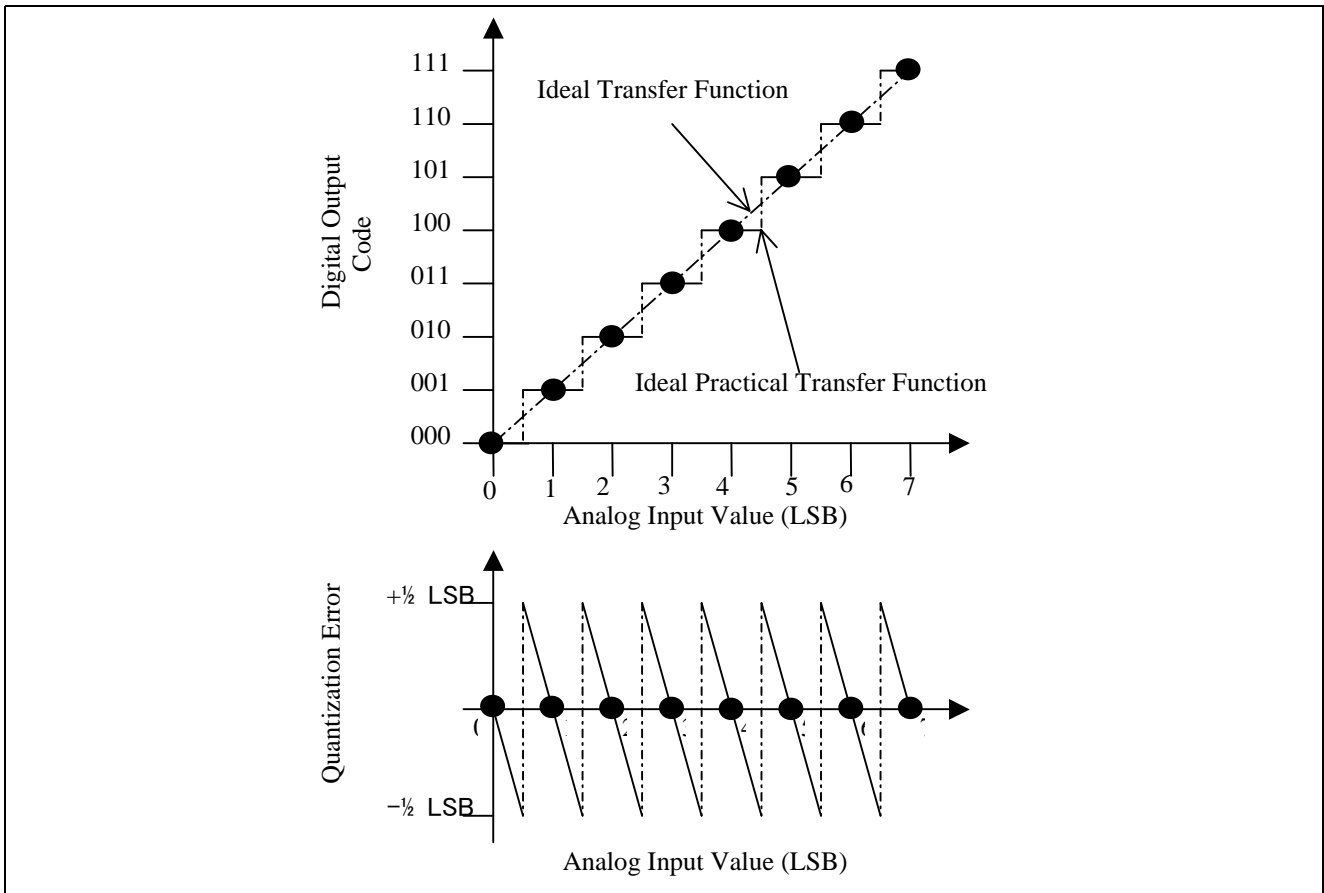


図 6 量子化誤差

量子化誤差を低減するには、より高精度の A/D 変換器を使用する方法しかありません。たとえば、

- A/D 変換器の全範囲が 5V で 10 ビット精度の場合  
 $1\text{LSB} = 5\text{V}/2^{10} = 4.883\text{mV}$   
 量子化誤差 =  $\pm 0.5 \times 4.883\text{mV} = \pm 2.442\text{mV}$
- A/D 変換器の全範囲が 5V で 12 ビット精度の場合  
 $1\text{LSB} = 5\text{V}/2^{12} = 1.221\text{mV}$   
 量子化誤差 =  $\pm 0.5 \times 1.221\text{mV} = \pm 0.611\text{mV}$

### 3.2 微分非直線性 (Differential Non-Linearity) 誤差

図 7 に示すように、微分非直線性誤差とは、1LSB 当たりの理想値と、実際のステップ幅の相違です。ステップ幅がちょうど 1LSB のとき、微分非直線性誤差は 0 です。微分非直線性誤差が 1LSB を超えるとき、入力の増加に対する出力の割合はより小さくなります。また、コード損失が起こる可能性もあります。つまり、 $2^n$  の中の 1 個以上のコードが出力されない可能性があります。

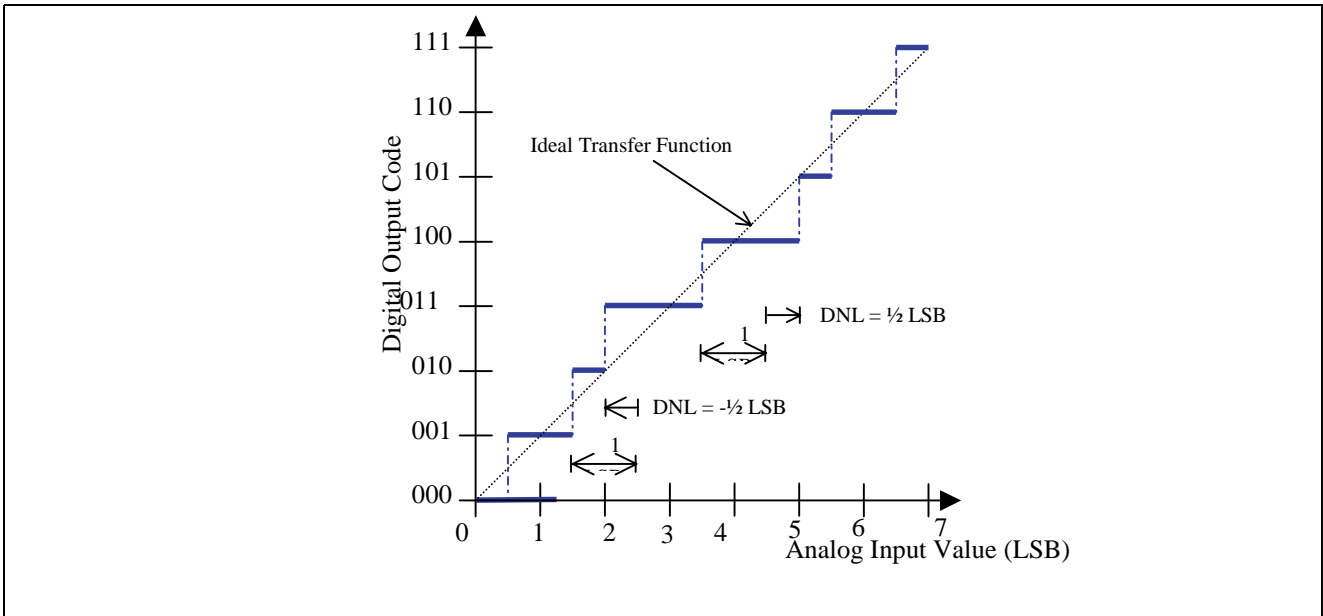


図 7 微分非直線性誤差

### 3.3 積分非直線性 (Integral Nonlinearity Error) 誤差

実際の変換時の理想的な直線からの値の偏差を積分非直線性誤差と呼びます (図 8)。この偏差は、1 ステップの変化幅で測定されます。

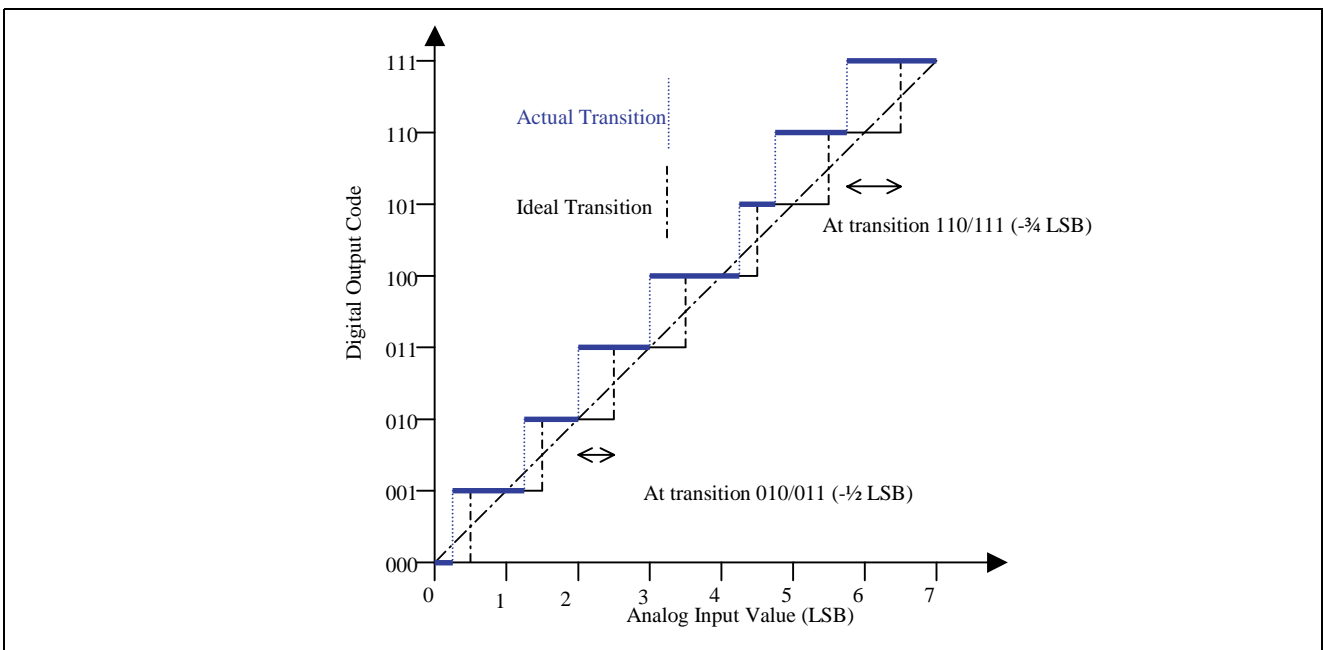


図 8 積分非直線性誤差



#### 4. SLP MCU A/D 変換器の特長

H8/38024 SLP シリーズは、抵抗ラダーをもとにした逐次比較 A/D 変換器を内蔵しています。

図 9 は SLP MCU 内蔵 A/D 変換器のブロック図です。A/D 変換器の特長は以下のとおりです。

- 各 10 ビット精度の 8 つの入力チャンネル
- 変換時間 12.4 $\mu$ s (min) (5MHz 動作), 124 $\mu$ s (max)
- サンプル&ホールド機能内蔵
- A/D 変換終了時の割り込み要求
- 外部トリガ入力による A/D 変換の開始
- 未使用時は、モジュールスタンバイモードにより、独立してスタンバイモードへ遷移

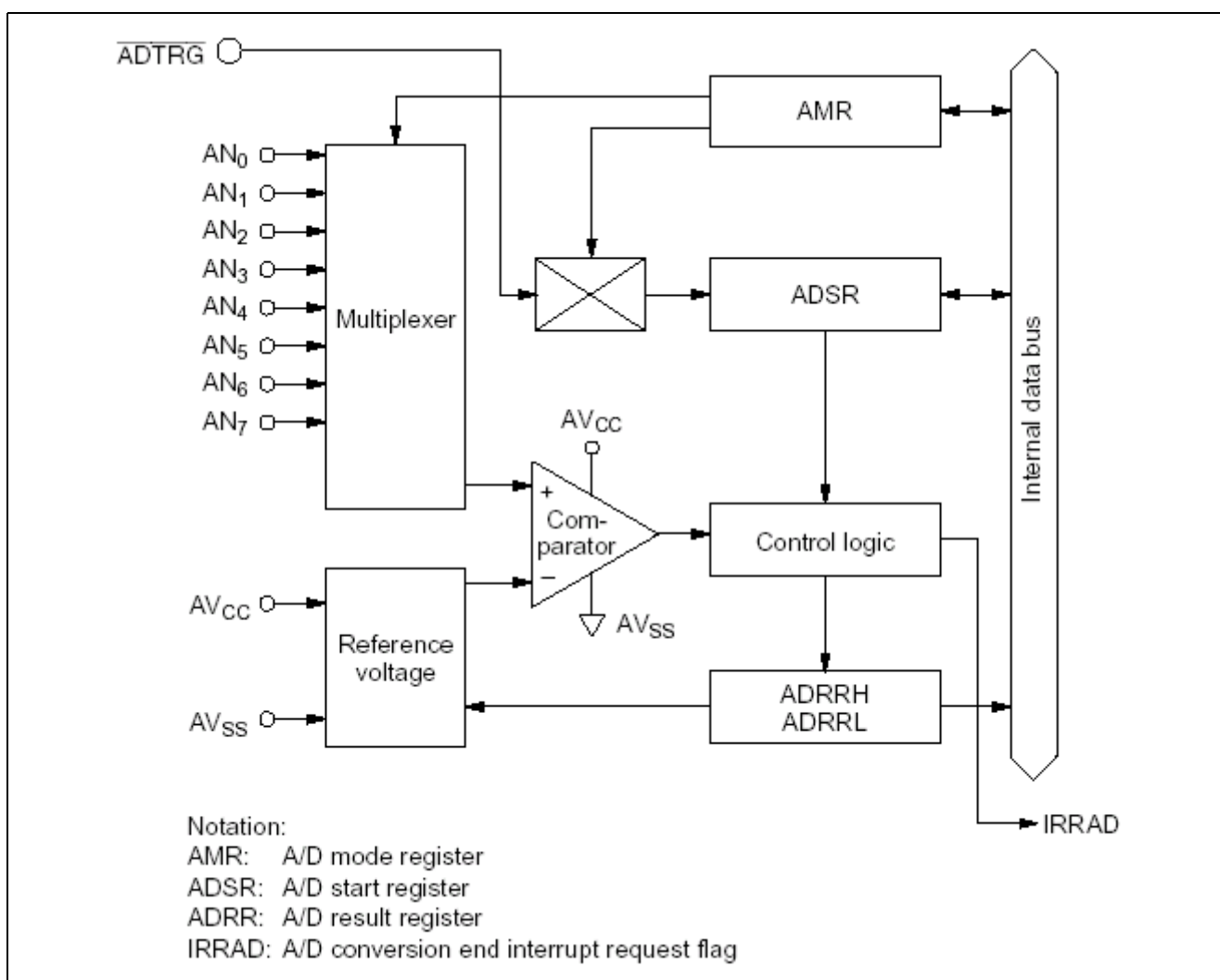


図 9 A/D 変換器のブロック図

表 1 に A/D 変換器の特性を示します。

表 1 SLP MCU A/D 変換器の特性

項目	値		単位	試験条件
	Min	Max		
分解能	—	10	ビット	—
量子化誤差	—	±0.5	LSB	—
非直線誤差	—	±2.5	LSB	$AV_{cc} = 2.7V$ to 5.5V $V_{cc} = 2.7V$ to 5.5V
	—	±5.5		$AV_{cc} = 2.0V$ to 5.5V $V_{cc} = 2.0V$ to 5.5V
	—	±7.5		上記以外 (変換時間 62 $\mu$ s)
絶対精度	—	±3.0	LSB	$AV_{cc} = 2.7V$ to 5.5V $V_{cc} = 2.7V$ to 5.5V
	—	±6.0		$AV_{cc} = 2.0V$ to 5.5V $V_{cc} = 2.0V$ to 5.5V
	—	±8.0		上記以外 (変換時間 62 $\mu$ s)
変換時間	12.4	124	$\mu$ s	$AV_{cc} = 2.7V$ to 5.5V $V_{cc} = 2.7V$ to 5.5V
	62	124		上記以外
アナログ入力容量 ( $C_{AIN}$ )	—	15.0	pF	—
許容信号源インピーダンス ( $R_{AIN}$ )	—	10.0	k $\Omega$	—

### 4.1 設計ガイドライン

以下のガイドラインに従って、アナログ/デジタル混合の信号設計を行ってください。

- 抵抗とインダクタンスを小さくするため、すべての電源ラインとグラウンドラインを短くしてください。
- 図 10 に示すように、ノイズを制御する簡単な方法として、(1) 低速で低電流のアナログ機能用、および (2) 高速で中電力のデジタル機能用に、別々の電源を使用してください。
  - フェライトビーズとバイパスコンデンサにより、ローパスフィルタのネットワークを形成して、高周波ノイズを低減します。また、変化する電流を抑えて、低インピーダンスの交流電流を両側のグラウンドにショートします。ノイズ周波数の範囲に合ったフェライト磁石を選択してください。
  - 広帯域の高周波ノイズのすべての高周波ノイズ成分を除去するには、2 つ以上のコンデンサを並列接続することが必要な場合があります。バイパスコンデンサには、過渡的な電源供給が要求される場合に、ただちに局所的な電源を供給する役割も果たします。

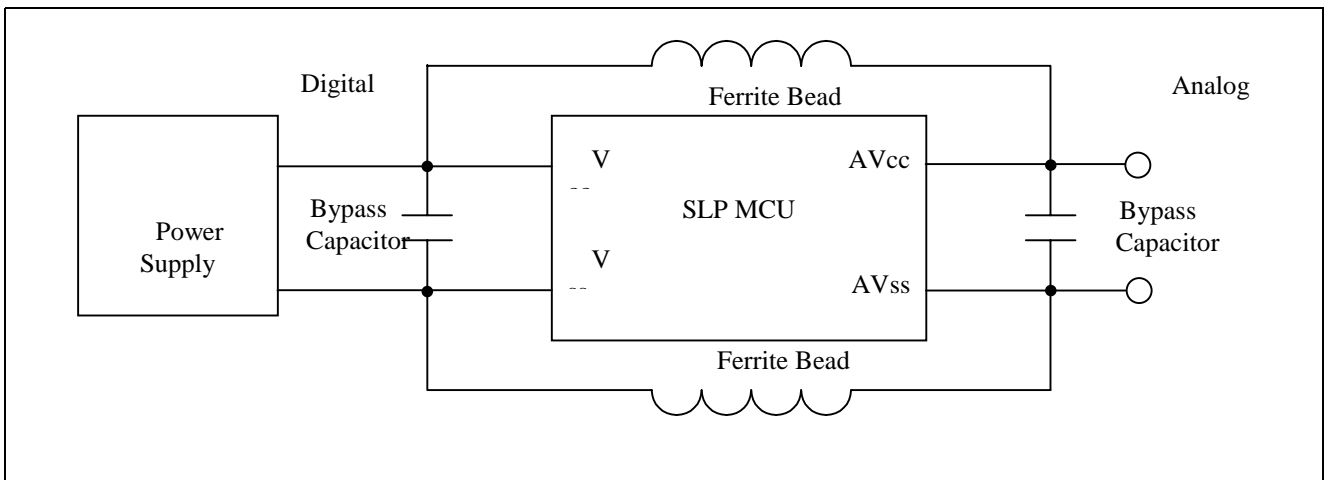
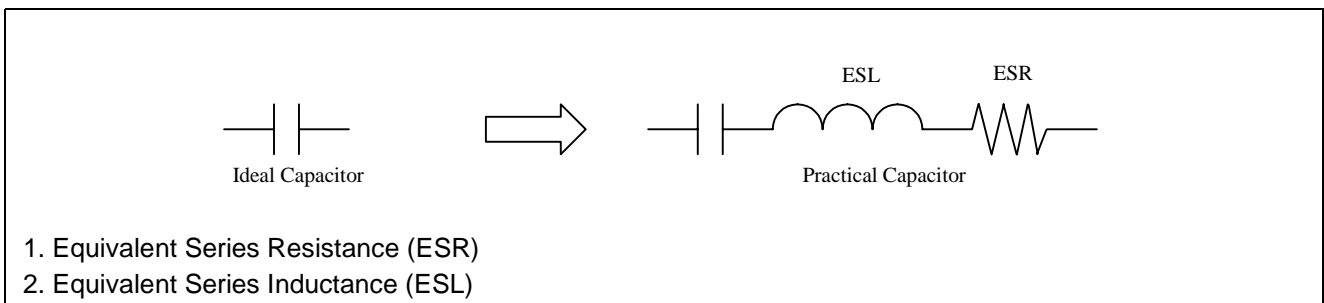


図 10 電源の分け方

- 図 11 はコンデンサの等価回路です。実際のコンデンサの周波数応答を以下に示します。
  - 低周波数では、インピーダンスは容量性です。
  - 自己共振周波数 (SRF) では、容量性リアクタンスと誘因性リアクタンスがお互いに消し合い、抵抗成分だけが残ります。これはコンデンサの周波数の上限で、以下のように定義されます。

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{ESL \cdot C}}$$

- 自己共振周波数を超えると、誘導性のリアクタンスが残ります。



1. Equivalent Series Resistance (ESR)
2. Equivalent Series Inductance (ESL)

図 11 コンデンサの等価回路

表 2 コンデンサのインピーダンス

周波数	低周波	自己共振周波数 (SRF)	高周波
インピーダンス	容量性	抵抗性	誘導性

コンデンサとデバイス間の抵抗成分またはインダクタンス成分を追加すると、寄生インダクタンスや寄生抵抗を増加させ、結果としてコンデンサの効果を低減します。したがって、すべてのバイパスコンデンサをデバイスのなるべく近くに配置してください。コンデンサとデバイスを接続する線は短く太くして、コンデンサとデバイス間の電力に干渉する可能性のある浮遊インピーダンスを最小限に抑えてください。

表 3 に、一般的に使用されるコンデンサの比較を示します。

表 3 コンデンサの比較

コンデンサの種類	長所	短所
チップ多層セラミックコンデンサ (NPO)	容量値の範囲大 低インダクタンス 小サイズ 良好な安定性 安価	容量値のみ
アルミ電解コンデンサ	容量値大 大電流 高電圧 小サイズ	高リーク 通常、極性をもつ 低安定性 低精度 インダクタンス
タンタル電解コンデンサ	大きい値 小サイズ 中インダクタンス	中リーク 通常、極性をもつ 低安定性 低精度 高価

- 特に、センサから出力される信号は出力レベルが低く出力インピーダンスが高い（低電力）ため、グラウンドノイズの影響を受けやすくなります。通常、センサは、誘導された低レベルのノイズさえも除去することができないため、以下のようにノイズの飛び込みを防止してください。
  - センサとレシーバ (A/D 変換器や増幅器) 間には短く太い共通のグラウンドを使用する。
  - 図 12 に示すように、センサへのグラウンド接続をレシーバだけとする。
  - センサ、配線、入力フィルタ、およびレシーバを高電力で高速な立ち上がり時間の回路から隔離する。
  - A/D 変換器へのすべてのアナログセンサ入力にローパスフィルタを接続する。

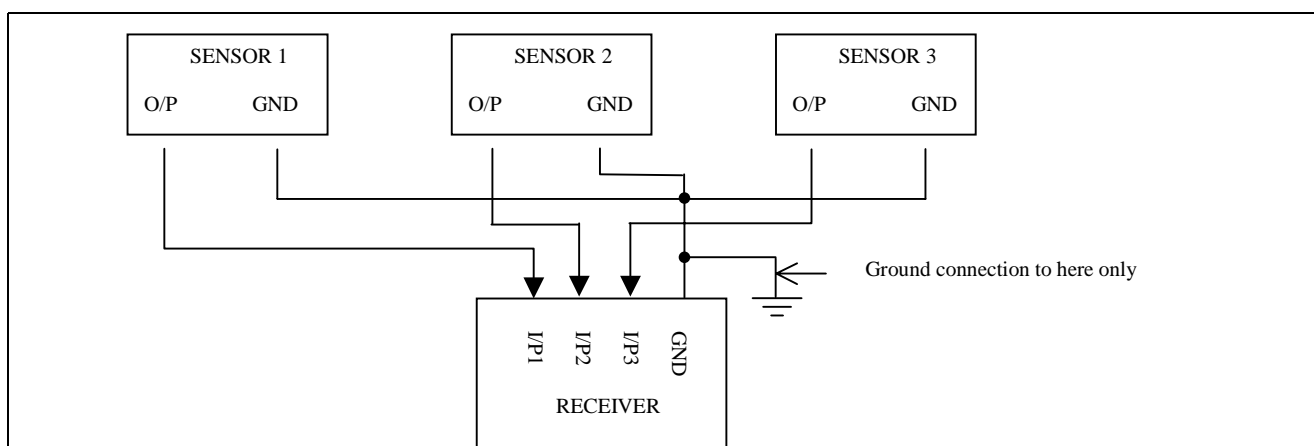


図 12 センサとグラウンドの接続

- 最大許容信号インピーダンスは  $10\text{k}\Omega$  です。センサの出力インピーダンスが  $10\text{k}\Omega$  を超える場合、A/D 変換器のサンプル&ホールド回路の入力容量の充電は不十分となり、A/D 変換器の精度が低下する可能性があります。図 13 は SLP MCU の A/D 変換器の等価回路です。外部容量が大きい場合、入力負荷は、実際には  $10\text{k}\Omega$  の内部入力インピーダンスとなります。ローパスフィルタにより、高速のアナログ信号は、正確に再生成されないかもしれません。

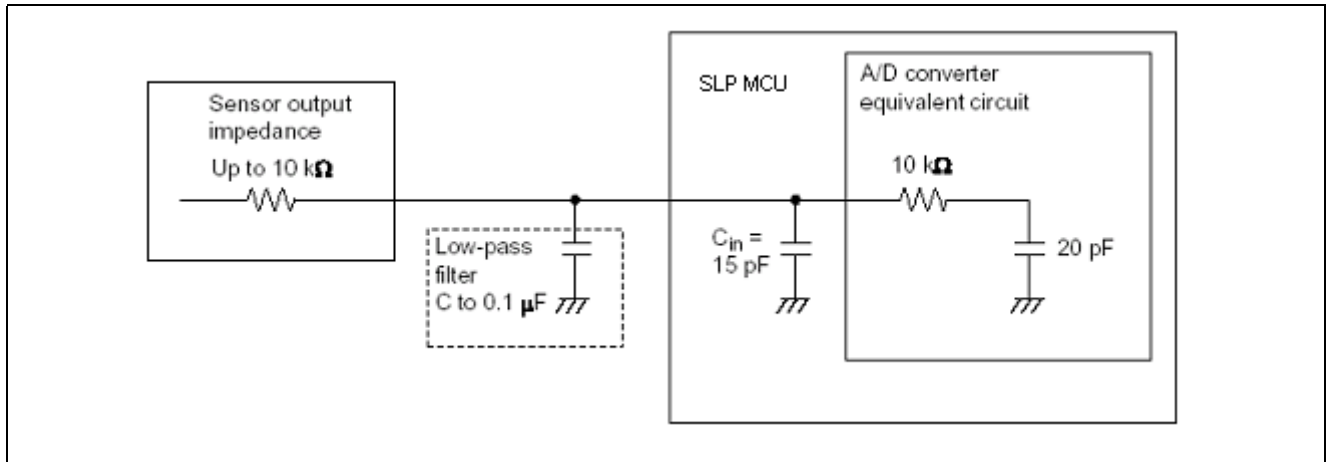


図 13 A/D 変換器の等価回路

- 図 14 に示すように、高速なアナログ信号を変換する場合は、低インピーダンスのバッファを挿入してください。このバッファにより、センサ側は、より高インピーダンスになり、A/D 変換器側はより低インピーダンスになります。

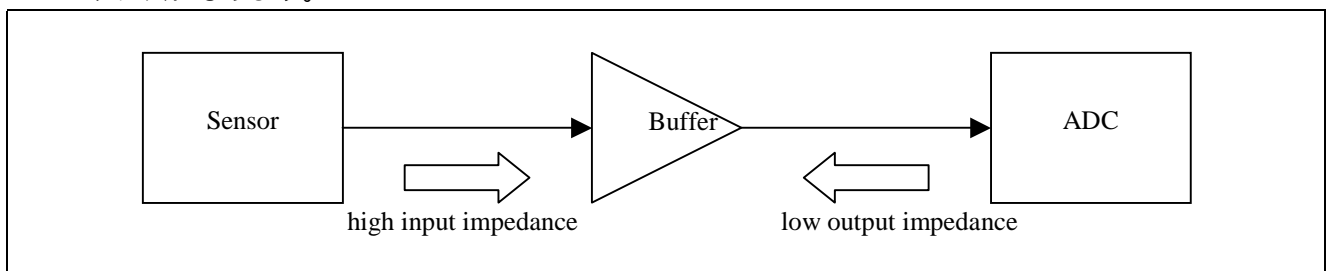


図 14 信号の隔離

### 4.2 応用例

この例では、図 15 に示すように、8 つの個別のセンサが H8/38024 SLP MCU の 8 つのアナログ入力 (AN0 ~ AN7) に接続されています。発振器の周波数は 10MHz、変換時間は 12.4 $\mu$ s に設定しています。内蔵の A/D 変換器の構造により、同時に 1 チャンネルでのみ変換できます。

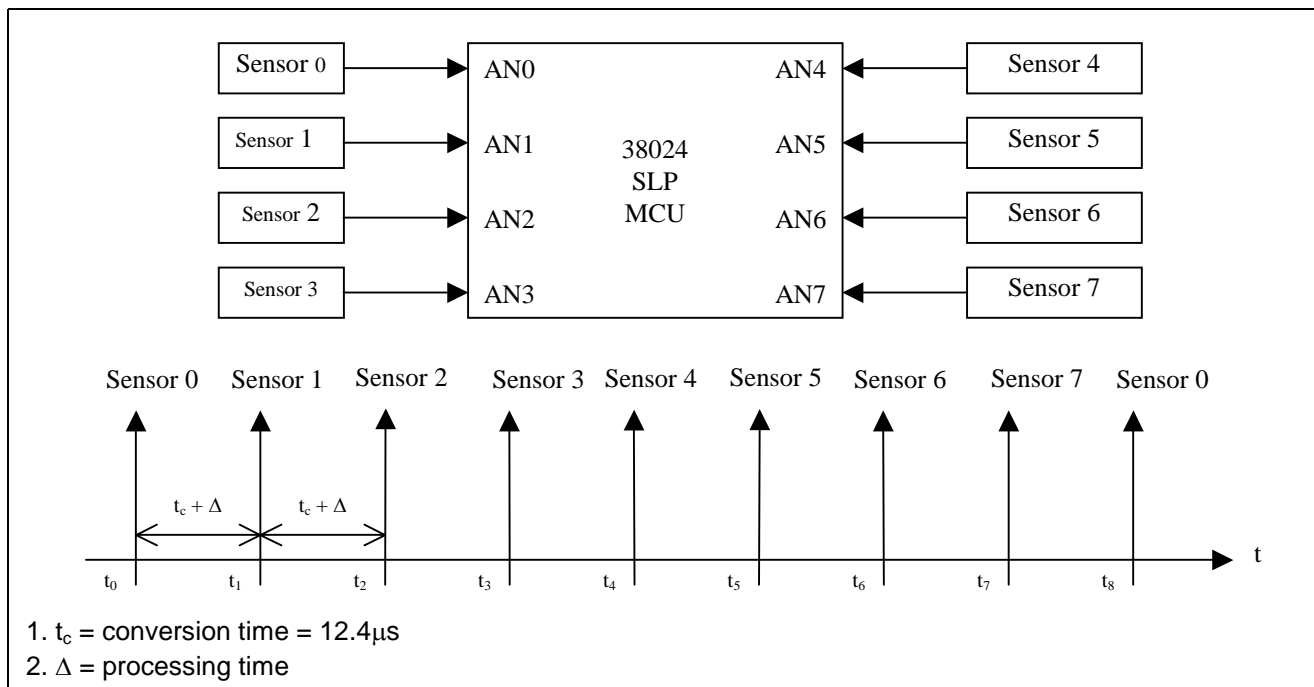


図 15 応用例

表 4 に AN0 での変換のためのアセンブリ言語プログラムの一部を示します。

表 4 アセンブリ言語のリスト

アドレス (16 進数)	アセンブリ言語	コメント	ステート数
400	BSET #4, @H'FFFA	A/D 変換器 モジュールスタンバイモードの解除	8
404	MOV.B #H'34, R0L	A/D 変換器速度を 62/ $\Phi$ に設定, AN0 の選択	2
406	MOV.B R0L, @H'FFC6		4
408	BCLR #6, @FFF4	A/D 変換器終了割り込みの禁止	8
40C	BCLR #7, @FFC7	A/D 変換器動作の開始	8
410	BTST #7, @H'FFC7	ADSR の読み出し	6
414	BNE @H'410	ADSF = 0 の確認	4
416	MOV.B @H'FFC4, R1H	ADRRH の読み出し	4
418	MOV.B @H'FFC5 R1L	ADRRL の読み出し	4

上記プログラムの一部のフローチャートを図 16 に示します。AN0 でのセンサからの入力を変換するために、ソフトウェアによるポーリングを使用しています。このプログラムでは、A/D 変換の結果の読み出しのみを記述しています。したがって、アナログ入力のキャプチャだけに適用でき、それ以降の処理は省略してあります。

A/D 変換と処理にかかる時間は、

$$t_c + \Delta = 12.4\mu\text{s} + \frac{(8+2+4+8+8+6+4+4+4)}{5\text{MHz}} = 22\mu\text{s}$$

サンプリング周波数 ( $f_s$ ) は、

$$f_s = \frac{1}{8 \times 22\mu\text{s}} = 5.682\text{kHz}$$

シャノンのサンプリング定理を適用すると、測定できる最大信号周波数は、

$$f_s \geq 2f_a$$

$$f_a \leq \frac{5.682\text{kHz}}{2} = 2.841\text{kHz}$$

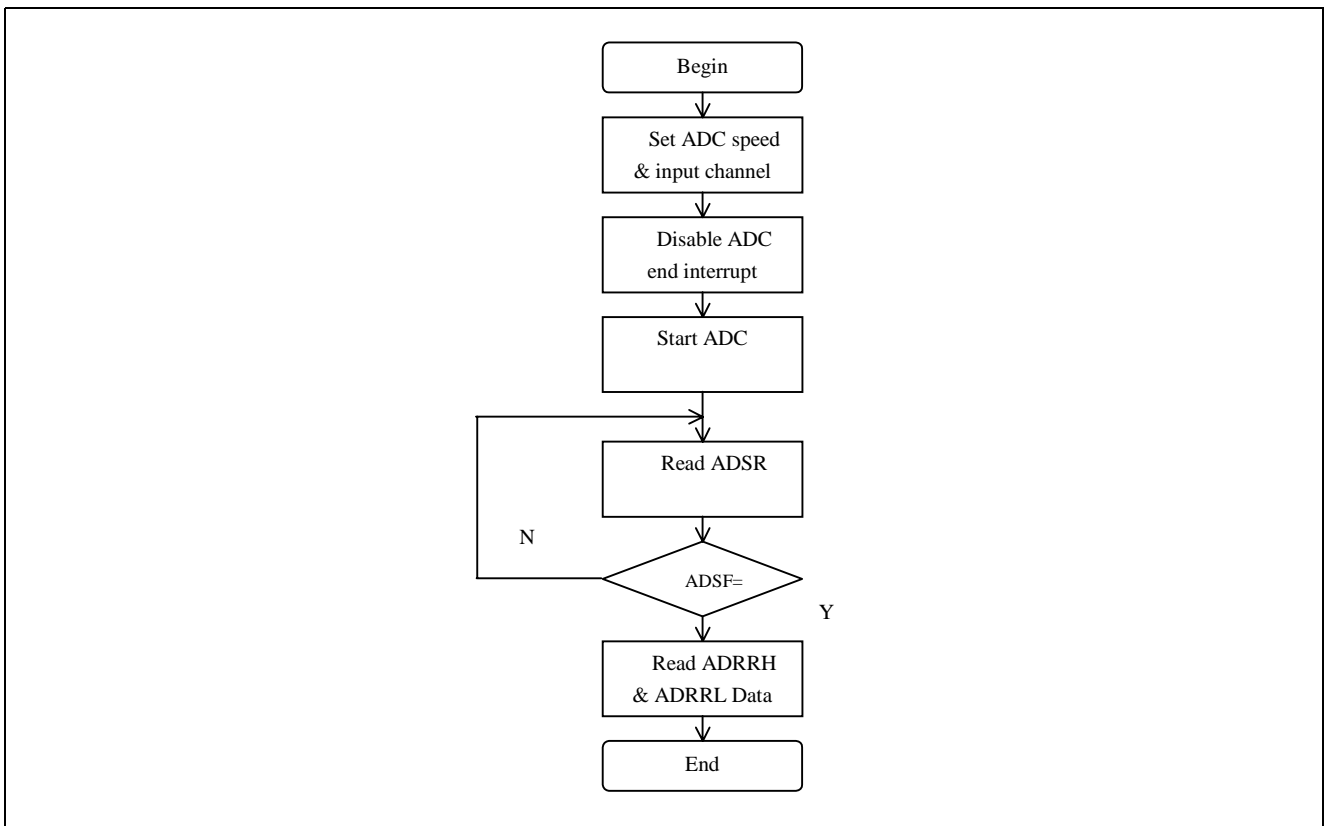


図 16 フローチャート

使用するセンサが一つするとき、サンプリング周波数 ( $f_s$ ) は、

$$f_s = \frac{1}{22\mu\text{s}} = 45.455\text{kHz}$$

シャノンのサンプリング定理を適用すると、測定できる最大信号周波数 ( $f_a$ ) は、

$$f_a \leq \frac{45.455\text{kHz}}{2} = 22.728\text{kHz}$$

このとき、MCU は変換レートが  $22\mu\text{s}$  を超えるアナログ信号を取り扱うことができます。

5. 信号の条件

この章では、[2]の増幅器について説明します。多くの場合、センサからの出力はミリボルト単位なので、電圧を A/D 変換器に入力する前に、出力電圧を増幅して、使用できる範囲に調整する必要があります (図 17 参照)。この 3 段増幅器は、低レベル差動出力のセンサに使用できます。この回路のポテンショメータ機能を以下に示します。

- RG は、アプリケーション用に調整または素早くスパンを変更するために、利得を調整します。スパンとは、センサがフルスケールまたはゼロのときの出力の差です。
- RU は所望のレベルに正のオフセットを設定します。たとえば、所望の利得を与えた後のオフセットが 0.25V で、0.5V のオフセットを設定したいとき、0.25V の VU が必要です。VU だけが正のオフセットのシフトを提供します。RU を調整することにより、VU を所望のレベルに設定できます。
- RD は負のオフセットを所望のレベルに設定します。たとえば、所望の利得を与えた後のオフセットが 1.0V で、0.5V のオフセットを設定したいとき、0.5V の VD が必要です。VD だけが負のオフセットを提供します。RD を調整することにより VD を所望のレベルに設定します。

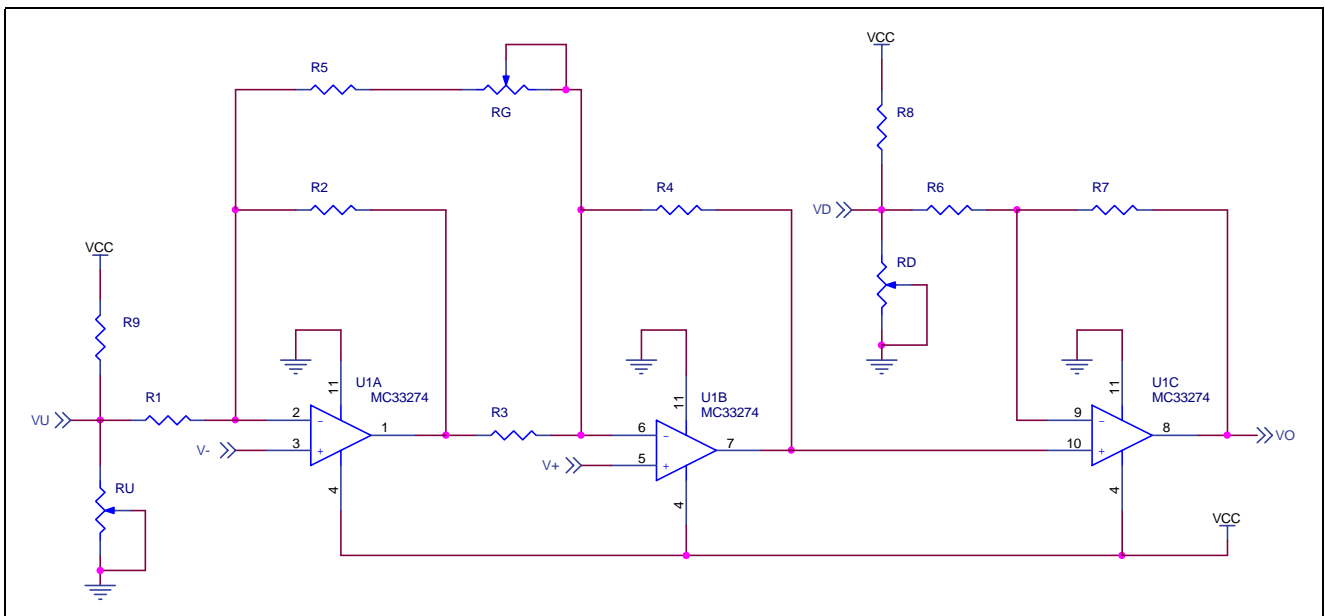


図 17 増幅器

R4 = R1 と R2 = R3 を設定することにより、図 17 の増幅器 (U1C の 8 ピン) の出力は、

$$VO = \left(1 + \frac{R7}{R6}\right) \cdot \left\{ \left(1 + \frac{R4}{R3} + \frac{2 \cdot R4}{R5 + RG}\right) \cdot [(V+) - (V-)] + VU \right\} - \frac{R7}{R6} \cdot VD$$

第 2 段 (U1B の 7 ピン) の出力は、

$$VO = \left\{ \left(1 + \frac{R4}{R3} + \frac{2 \cdot R4}{R5 + RG}\right) \cdot [(V+) - (V-)] + VU \right\}$$

一般的に、R4 と R3 の比は、R2 と R1 の比に等しくすべきです。単純にするために、R4 = R1、R3 = R2 に設定してください。また R3 と R2 は、10 ~ 数百オーム程度にしてください。VU と VD 用の電圧分割のための効果的な並列抵抗は、それぞれ R1 と R2 および R6 と R7 の合計より 1 桁小さくしてください。U1B と U1C 用に 10kΩ を超える高フィードバック抵抗を使用すると、出力を電源ラインの近くで飽和させることができるので増幅器のダイナミックレンジが最大となります。



3 段目のセンサ増幅器を設計する手順を以下に示します。

- ステップ 1. 最大オフセット値と最小オフセット値とスパンをセンサのデータ仕様から取得する。** この例では、センサにはモトローラ社の非補償型シリコン圧力センサ MPX10 10kPa を使用します。3V の励磁電圧に基づく仕様を以下に示します。

表 5 センサ仕様

パラメータ	Min. (mV)	Max. (mV)
スパン	20	50
オフセット	0	35

- ステップ 2. 比率的な出力を考慮する。** データ仕様には 3V の励磁電圧に対する最小スパンと最大スパンおよびオフセットが規定されています。多くのセンサの出力は、供給された励磁電圧に対して比率的です。つまり、実際の供給電圧に対する出力の大きさは次の式によって求められます。

$$V'_A = V_A \times \frac{V'_S}{V_S}$$

ここで  $V'_A$  と  $V_A$  は、それぞれ実際の供給電圧 ( $V'_S$ ) とデータシート上の供給電圧 ( $V_S$ ) 時の出力電圧です。実際の供給電圧 3.3V に基づいて測定されたスパンとオフセットを表 6 に示します。

表 6 測定したセンサ仕様

パラメータ	Min. (mV)	Max. (mV)
測定したスパン	22	55
測定したオフセット	0	38.5

- ステップ 3. 増幅したスパンとオフセットの期待値を決める。** この例では、増幅器からの出力が H8/38024 SLP MCU の A/D 変換器に入力されます。このとき、基準電圧は 0V と 3.3V、つまり  $AV_{SS} = 0V$ 、 $AV_{CC} = 3.3V$  です。よって、オフセット電圧 0.3V で増幅スパン 2.7V を選択してください。これらの値は両端で 0.3V の余裕を持たせるためのものです。

表 7 増幅出力

圧力	増幅出力 (V)
ゼロ	0.3
フルスケール	3.0

- ステップ 4. 利得範囲を計算する。** 2.5V スパンを実現するために必要な最小および最大利得を計算してください。

$$\text{Maximum Gain} = \frac{\text{Desired Span}}{\text{Minimum Span}} = \frac{2.7V}{22mV} = 123$$

$$\text{Minimum Gain} = \frac{\text{Desired Span}}{\text{Maximum Span}} = \frac{2.7V}{55mV} = 49$$

- ステップ 5. レベルシフトを適用する。** 所望のオフセット電圧レベルを得るためには、増幅したオフセット電圧の範囲によって、正、負、または両方のタイプのレベルシフトが必要です。

$$\text{OFFSET}_1 = \text{最大利得} \times \text{最大オフセット} = 123 \times 38.5mV = 4.736V$$

$$\text{OFFSET}_2 = \text{最小利得} \times \text{最小オフセット} = 49 \times 0mV = 0V$$

- **ステップ6. レベルシフトの量を決める。** 必要なレベルシフトは以下の計算式により求められます。

$$V_{\text{SHIFT1}} = \text{所望のオフセット} - \text{OFFSET}_1 = (0.3 - 4.736)\text{V} = -4.436\text{V} = \text{VD}$$

$$V_{\text{SHIFT2}} = \text{所望のオフセット} - \text{OFFSET}_2 = (0.3 - 0)\text{V} = 0.3\text{V} = \text{VU}$$

$V_{\text{SHIFT1}}$  または  $V_{\text{SHIFT2}}$  が正の場合、正のレベルシフトが必要です。 $V_{\text{SHIFT1}}$  または  $V_{\text{SHIFT2}}$  が負の場合、負のレベルシフトが必要です。したがって、所望の MPX10 に 0.3V のオフセット、4.436V 以内の負のレベルシフト、0.3V 以内の正のレベルシフトを持たせるようにキャリブレーションしてください。

- **ステップ7. 利得を設定する抵抗値を計算する。** 抵抗を選択するとき、 $\pm 0.1\%$  の許容範囲で低い温度係数の抵抗を推奨します。計算値に最も近い値をもつものを使用します。より微細に利得とオフセット調整するには、回転の多い（ゼロからフルスケール抵抗までの回転数の多いもの）ポテンショメータを使用してください。
  - R7 を 10k $\Omega$  に設定してください。
  - 次の比率を計算してください。

$$\text{RATIO}_{-\text{SHIFT}} = \frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{D}}} = \frac{3.3}{4.436} = 0.744$$

$$\text{RATIO}_{+\text{SHIFT}} = \frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{U}}} = \frac{3.3}{0.3} = 11$$

—  $\text{RATIO}_{+\text{SHIFT}} > \text{RATIO}_{-\text{SHIFT}}$  かつ  $\text{RATIO}_{-\text{SHIFT}} > 1$  の場合、 $R6 = R7$ 。または、

$$\frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{D}}} > 1 \Rightarrow R6 \leq R7 \cdot \frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{D}}}$$

—  $\text{RATIO}_{+\text{SHIFT}} < \text{RATIO}_{-\text{SHIFT}}$  and  $\text{RATIO}_{+\text{SHIFT}} > 1$  のとき、 $R6 = R7$ 。または、

$$R6 \leq R7 \cdot \frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{U}}}$$

— この例では、 $\text{RATIO}_{+\text{SHIFT}} > \text{RATIO}_{-\text{SHIFT}}$  かつ  $\text{RATIO}_{-\text{SHIFT}} < 1$  であり、

$$R6 \leq R7 \cdot \frac{V_{\text{CC}}}{V_{\text{D}}} = 10\text{k}\Omega \cdot \frac{3.3\text{V}}{4.436\text{V}} = 7.439\text{k}\Omega$$

— 計算を簡略化するため、上記の仕様を満たす範囲で、R7 と R6 を整数比に設定してください。R6 = 5k $\Omega$  で比を 2 に設定してください。通常は、R2 と R3 は、100 $\Omega$  ~ 2k $\Omega$  の間に設定します。R1 と R4 は 10k $\Omega$  以上に設定してください。R2 = R3 = 1k $\Omega$  として、以下を計算します。

$$R1 = R4 = \left( 0.80 \cdot \frac{\text{MINIMUM GAIN}}{1 + \frac{R7}{R6}} - 1 \right) \cdot R2 = \left( 0.80 \cdot \frac{49}{1 + \frac{10}{5}} - 1 \right) \cdot 1\text{k}\Omega = 12.067\text{k}\Omega$$

最も近い値は 12.1k $\Omega$  となります。

— R5 の値を選択するとき、その値が計算値以下であることを確認してください。

$$R5 = \frac{2 \cdot R4}{\frac{\text{MAXIMUM GAIN}}{1 + \frac{R7}{R6}} - \frac{R4}{R2} - 1} = \frac{2 \cdot 12.1\text{k}\Omega}{\frac{123}{1 + \frac{10}{5}} - \frac{12.1}{1} - 1} = 867\Omega$$

最も近い値は 866 $\Omega$  となります。

— ポテンショメータに必要な最大値は、

$$R5 = \frac{2 \cdot R4}{\frac{\text{MINIMUM GAIN}}{1 + \frac{R7}{R6}} - \frac{R4}{R2} - 1} - R5 = \frac{2 \cdot 12.1\text{k}\Omega}{\frac{49}{1 + \frac{10}{5}} - \frac{12.1}{1} - 1} - 866\Omega = 6.619\text{k}\Omega$$

● **ステップ 8. オフセットを調整する抵抗値を計算する。**

— 正のレベルシフトの場合、 $R9 = 0.1 \cdot R1 = 0.1 \cdot 12.1\text{k}\Omega = 1.21\text{k}\Omega$ を設定してください。

$$R9 = \frac{\left[ \frac{VU}{\left(1 + \frac{R7}{R6}\right) \cdot V_{CC}} \right] \cdot R9}{1 - \frac{VU}{\left(1 + \frac{R7}{R6}\right) \cdot V_{CC}}} = \frac{\left[ \frac{0.3}{\left(1 + \frac{10}{5}\right) \cdot 3.3} \right] \cdot 1.21\text{k}\Omega}{1 - \frac{0.3}{\left(1 + \frac{10}{5}\right) \cdot 3.3}} = 37.8\Omega$$

— 負のレベルシフトの場合、 $R8 = 0.1 \cdot (R6 + R7) = 0.1 \cdot (10 + 5)\text{k}\Omega = 1.5\text{k}\Omega$ を設定してください。

$$R8 = \frac{\left[ \frac{VD}{\frac{R7}{R6} \cdot V_{CC}} \right] \cdot R8}{1 - \frac{VD}{\frac{R7}{R6} \cdot V_{CC}}} = \frac{\left[ \frac{4.436}{\frac{10}{5} \cdot 3.3} \right] \cdot 1.5\text{k}\Omega}{1 - \frac{4.436}{\frac{10}{5} \cdot 3.3}} = 3.075\text{k}\Omega$$

● **ステップ 9. キャリブレーション**

1. すべてのポテンショメータをゼロに設定してください。
2. センサへの圧力をゼロにしてください。RU または RD (どちらか一方のみ) を調節してオフセットが 0.3V になるようにしてください。
3. センサにフルスケールの圧力を印加してください。RG を調節してフルスケールの出力 3.0V になるようにしてください。
4. オフセットは利得の調整に影響されます。適切なオフセットとスパンを得るまでステップ 1 から 3 を繰り返し行ってください。

## 6. 参考文献

1. Paul Horowitz and Winfield Hill, The Art of Electronics, 2nd Edition, 1989, Cambridge University Press.
2. Eric Jacobsen, Designing Amplifiers for Sensor Applications: A Cookbook Approach, pg 119-128, January 1996, EDN.
3. Donald Christiansen, Electronics Engineers' Handbook, Fourth Edition, 1997, McGraw-Hill.
4. Capacitor Comparison Chart, <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/30-2/chart.html>.

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2004.08.06	—	初版発行

### 安全設計に関するお願い

1. 弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品は故障が発生したり、誤動作する場合があります。弊社の半導体製品の故障又は誤動作によって結果として、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないような安全性を考慮した冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分ご留意ください。

### 本資料ご利用に際しての留意事項

1. 本資料は、お客様が用途に応じた適切なルネサス テクノロジ製品をご購入いただくための参考資料であり、本資料中に記載の技術情報についてルネサス テクノロジが所有する知的財産権その他の権利の実施、使用を許諾するものではありません。
2. 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例の使用に起因する損害、第三者所有の権利に対する侵害に関し、ルネサス テクノロジは責任を負いません。
3. 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他全ての情報は本資料発行時点のものであり、ルネサス テクノロジは、予告なしに、本資料に記載した製品または仕様を変更することがあります。ルネサス テクノロジ半導体製品のご購入に当たりますは、事前にルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へ最新の情報をご確認頂きますとともに、ルネサス テクノロジホームページ(<http://www.renesas.com>)などを通じて公開される情報に常にご注意ください。
4. 本資料に記載した情報は、正確を期すため、慎重に制作したのですが万一本資料の記述誤りに起因する損害がお客様に生じた場合には、ルネサス テクノロジはその責任を負いません。
5. 本資料に記載の製品データ、図、表に示す技術的な内容、プログラム及びアルゴリズムを流用する場合は、技術内容、プログラム、アルゴリズム単位で評価するだけでなく、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。ルネサス テクノロジは、適用可否に対する責任を負いません。
6. 本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況の下で使用される機器あるいはシステムに用いられることを目的として設計、製造されたものではありません。本資料に記載の製品を運輸、移動体用、医療用、航空宇宙用、原子力制御用、海底中継用機器あるいはシステムなど、特殊用途へのご利用をご検討の際には、ルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へご照会ください。
7. 本資料の転載、複製については、文書によるルネサス テクノロジの事前の承諾が必要です。
8. 本資料に関し詳細についてのお問い合わせ、その他お気づきの点がございましたらルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店までご照会ください。