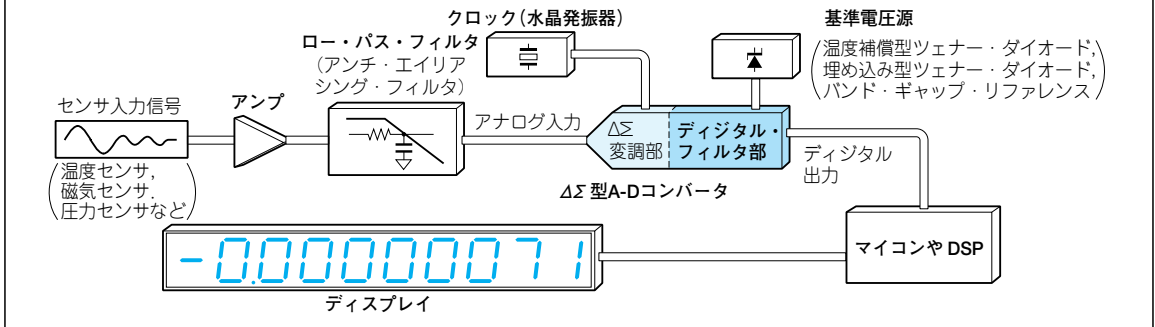


#### 今回のターゲット回路ブロック



#### 分かるようになること

- ・ データシートのスペックから実際に得られる分解能を見積もる方法
- ・ 入力部に外付けする CR が分解能に大きく

#### 影響する理由

- ・ 直流用 ΔΣ 型 A-D コンバータに内蔵されたデジタル・フィルタのふるまい

今回は、直流測定用の A-D コンバータを使って、出力精度を出すために必要なデジタル・フィルタのしくみについて解説します。

#### 実際の分解能の見積もり

##### ● 仕様通りの分解能は実現できない

A-D コンバータ IC のデータシートに記載されている分解能の仕様が 24 ビットだからといって、DC の測定精度が実力で 24 ビットあるわけではありません。実際に使ってみると 16~18 ビット程度です。

表 2-1 に、フルスケール電圧 ( $V_{FS}$ ) が 5V のときの A-D コンバータ IC の分解能と 1 LSB の関係を示します。5V を  $2^{24}$  (24 ビット) で分解したときの 1 ビット分の電圧 (1 LSB) は表から  $V_{FS}$  の 0.000006% です。分解能が 24 ビットというのは想像を絶する世界なのです。

例えば LTC2440 (リニアテクノロジー) で説明すると、ゲイン誤差 10 ppm (最大 50 ppm) ですから、これは表 2-1 から約 16 ビット (最小 14 ビット) です。LTC2440 の  $V_{FS}$  を 5V とすると、オフセット誤差 2.5  $\mu$ V (最大 5  $\mu$ V) は 21 ビット (最小 20 ビット) 相当です。積分非直線誤差 (リニアリティ) は 5 ppm (最大 15 ppm) ですから、これは約 18 ビット (最小 16 ビット) 相当です。

これらの情報から、LTC2440 の DC 精度は約 16 ビットと推測できます。ただし、前述の誤差はキャリブレーション (校正) によって補償することができるので、**温度ドリフトのほうの問題になります**。LTC2440 の温度ドリフトは小さいので、キャリブレーションをこまめに行うことで測定精度を上げることができます。

また、 $\Delta\Sigma$  型 A-D コンバータは原理的に積分非直線誤差を非常に小さくでき、しかもそのカーブも単調なので、キャリブレーションが他のタイプの A-D コ

表 2-1 A-D コンバータの分解能と 1 LSB ( $V_{FS} = 5$  の場合)

分解能 N [ビット]	$V_{FS}$ を分解 する数 $2^N$	1LSB [ $\mu$ V] ( $V_{FS} = 5V$ の場合)	$V_{FS}$ に対する 1LSB の割合		
			[%]	[ppm]	[dB]
8	256	19600	0.39	3906	- 48
16	65536	76.5	0.0015	15	- 96
18	262144	19	0.0004	4	- 108
20	1048576	5	0.0001	1	- 120
22	4194304	1.2	0.000024	0.24	- 132
24	16777216	0.3	0.000006	0.06	- 144

ンバータより楽にできるというメリットがあります。

● ばらつきも含めた精度の実効値はピーク・ツー・ピーク雑音で把握

通常、雑音の大きさは実効値で表されます。図2-1のようにランダムに発生する雑音はガウス分布するので、標準偏差 $\sigma$ と実効値は等しくなります。一方、実効値とピーク・ツー・ピーク値(以降、P-P値)の関係は図2-2のようになります。

実際の回路で考えると実効値というのは平均値を表すので、ばらつきなどを含めた性能の実効値を評価するときにはP-P値のほうが適当です。

▶ 雑音の実効値からピーク・ツー・ピーク雑音を予測

一般的には、実効値を6.6倍するとほぼ0.1%の確率(雑音がピーク値を越える時間のパーセント)でP-P値が求まります。

特性を良く見せようとしたらP-P値を6.6×実効値ではなく、2×実効値にすればよさそうですが、これだと32%の確率で雑音がこのピーク値を越えてしまうので、実験してみたらすぐに性能が悪いことに気づかれてしまうでしょう。逆に、12×実効値のようにP-P値を厳しい仕様にするると、図2-2より雑音がピーク値を越える確率はわずか0.0000002%しかありません。今度はオーバースペックと思われてしまい「もっとスペックを下げてそのぶん安くしてくれ」という

要求が出てくるでしょう。

結局、P-P雑音は雑音の実効値の6.6倍、あるいは $\pm 3\sigma$ ( $= 6 \times$ 実効値)とするのが一般的です。

A-Dコンバータに雑音が入ると測定データはばらつきます。LTC2440の出力雑音は $0.2 \mu V_{RMS}$ (変換レートが6.9 spsのとき)ですから、これはP-P値では $0.2 \times 6.6 = 1.32 \mu V_{P-P}$ です。これは約22ビット相当になります。

精度を悪化させる要因と対処方法

■ 変換レートUPとPGAの出力雑音

変換レートが高くなると図2-3のように雑音が大きくなります。変換レートが880 spsのときは $2 \mu V_{RMS}$ ですから、P-P値は $2 \times 6.6 = 13.2 \mu V_{P-P}$ となつて約16ビット相当になります。このように、直流電圧測定時に変換レートを高く設定すると、測定データのばらつきが大きくなります。

▶ 入力できる最大振幅の制約

最近の $\Delta\Sigma$ 型A-DコンバータにはPGA(プログラマブル・ゲイン・アンプ)を内蔵したのがあります。これらのICは内蔵しないものに比べて入力フルスケール電圧が小さいため(例えば数十mV)、雑音の影響を受けやすい欠点があります。従って、PGA内蔵型

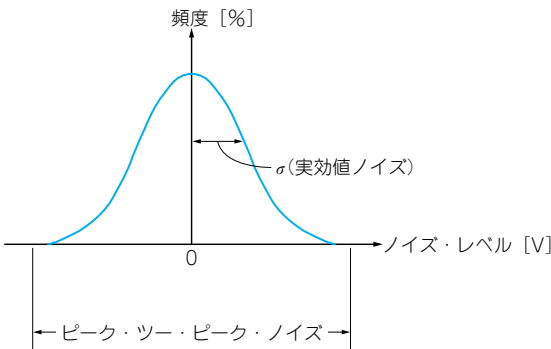


図2-1 ランダム雑音の標準偏差と実効値

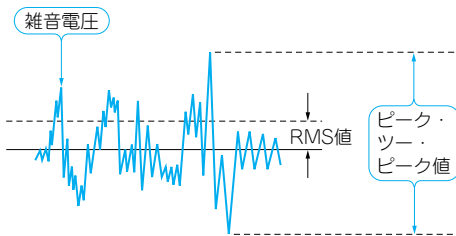


図2-2 雑音の実効値とピーク・ツー・ピーク雑音の関係

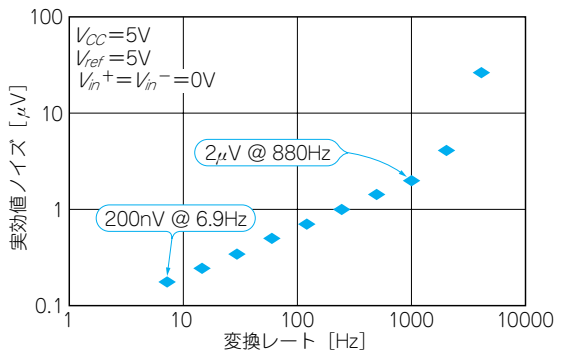


図2-3 24ビット $\Delta\Sigma$ 型A-DコンバータIC LTC2440の雑音の実効値と変換レートの関係

実効雑音の値に対するピーク・ツー・ピーク雑音の仮定の比 [倍]	雑音が仮定したピーク・ツー・ピーク値を越える時間の割合 [%]
2	32
3	13
4	4.6
5	1.2
6	0.27
6.6	0.1
7	0.046
8	0.006
12	0.0000002