

アナログ周辺回路 の考え方・作り方

松添 信宏
Nobuhiro Matsuzoe

ワンチップ・マイコンにA-Dコンバータ(ADC)が標準的に搭載されるようになり、アナログ信号をマイコンに取り込んで制御を行う使い方が増えてきました。また、アナログ信号の取り込みだけでなく、D-Aコンバータ(DAC)を搭載するマイコンを使うと、アナログ入力とアナログ出力のアプリケーションをマイコン1個で設計できるようになります。

マイコンの利便性が高まったことで、最近は組み込み設計の世界にマイコンから入るエンジニアも多いと思います。マイコンの周辺回路にはいろいろありますが、OPアンプやフィルタ回路などのアナログ回路技術は、マイコン周辺回路の一部だけでは取まらないほど学問的に奥が深く、それだけで多くの専門書が書かれています。

本章では、OPアンプとフィルタ回路全般について説明するのではなく、マイコン内蔵のADC、DACの性能を十分に出すには、どのようなアナログ回路を設計したらよいか、という視点で説明したいと思います。

したがって、OPアンプやフィルタ回路については、最低限知っておくべき事項のみを説明します。

なお、最近のワンチップ・マイコンには、OPアンプやフィルタ回路をオンチップで内蔵するタイプも登場しているので、これらの製品についても説明に含めたいと思います。



マイコンのアナログ周辺回路

● アナログ信号源をマイコンのADCに接続する

ADCでデジタルに変換するアナログ信号源としては、現実の物理量(温度、湿度、明るさ、重量、抵抗、容量、インピーダンス)を測定するセンサ・デバイスからの出力や、回路上の電圧や電流といったものが存在します。

これらの信号は、ノイズを含んでいたり、信号そのものが微弱であるため、マイコンのADCに直接入力したのでは、精度を維持することができず、所望のア

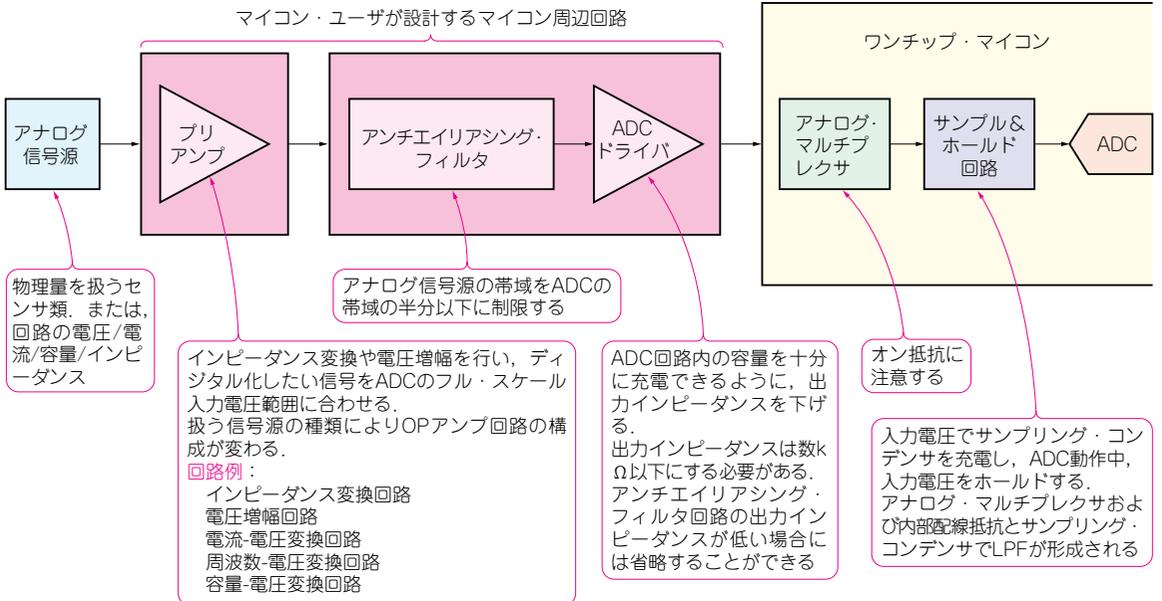


図1 アナログ信号処理を行うマイコン周辺回路

表1 A-Dコンバータの分解能と最下位ビット (LSB: Least Significant Bit) の電圧

10 Vをフル・スケールにしている。ADCのアナログ電圧入力範囲が5 Vの場合は10 Vスケールの半分となる。

分解能 [ビット]	2^N	電圧 [10 V (FS)]	ppm (FS)	% (FS)	dB (FS)
2	4	2.5 V	250,000	25	- 12
4	16	625 mV	62,500	6.25	- 24
6	64	156 mV	15,625	1.56	- 36
8	256	39.1 mV	3,906	0.39	- 48
10	1,024	9.77 mV (10 mV)	977	0.098	- 60
12	4,096	2.44 mV	244	0.024	- 72
14	16,384	610 μ V	61	0.0061	- 84
16	65,536	153 μ V	15	0.0015	- 96
18	262,144	38 μ V	4	0.0004	- 108
20	1,048,576	9.54 μ V (10 μ V)	1	0.0001	- 120

アプリケーションを作ることができません。

そこで、アナログ信号源とADCの間に、OPアンプを用いた回路を設計することになります。図1は、アナログ信号源とADCをインターフェースする回路の典型的なシステム構成例で、**データ・アクイジション・システム**と呼ばれます。一般に、前段にプリアンプ、後段にフィルタという回路構成をとります。

アナログ信号源は、通常はセンサ・デバイスであることが多いのですが、デジタル出力のセンサや、アンプとアナログ・バッファを内蔵し、「マイコンのADCと直接インターフェース可能」としているセンサ・デバイスもあります。これらのセンサを使う場合には、外付けのアンプやフィルタは不要です。

今後、デジタル出力型やアンプ出力型のセンサ・デバイスは増えてくると思いますが、デバイスそのものが高価であったり、センサによってはアンプ回路を組み込んでしまうことで、特性や用途が限定される場合があるため、ユーザが設計するアナログ回路がなくなることはないでしょう。

● アナログ回路の種類

アナログ信号源からの信号はADCへ入力されるまでの間に、いくつかの処理が行われます。大きく二つの処理に分けることができます。

① プリアンプ回路

信号変換/信号増幅/信号レベル・シフトを行う回路で、電流、抵抗、容量、インピーダンス信号をアナログ電圧へ変換し、信号レベルを増幅します。

増幅する目的は、信号源の信号スケールをADCのアナログ入力電圧スケールに合わせ、ダイナミック・レンジを上げることです。次に例を示します。

センサ出力スケール : 100 mV_{p-p}
 ADC入力スケール : GND ~ V_{DD} (5 V)
 ADC分解能 : 10 ビット

ADCは10ビットなので、GND - V_{DD}間の電圧を2¹⁰

である1024カウントで表現することができ、1カウント当たり、およそ5 mVです(表1)。センサをADCに直接接続した場合、センサ出力のフルスケールはADCのスケールから見ると、

$$100 \text{ mV} \div 5 \text{ mV} = 20 \text{ カウント}$$

となり、ADCのスケールは20カウント/1024カウント、パーセントにするとたったの2パーセントしか利用していないこととなります。異なる言い方をすると、これは10ビットADCを4.3ビットADCとして利用していることになり、ADCの性能を活かすことができません。

② フィルタ回路

アナログ信号には、センサ自身のノイズや外来ノイズが含まれます。これらの高周波ノイズを除去するためにロー・パス・フィルタ(LFP)を利用します。マイコンのADCにとって、ロー・パス・フィルタは重要な役割を果たします。それは、ADCのサンプリング周波数 f_s の1/2以上の高周波成分を減衰させるフィルタで、**アンチエイリアシング・フィルタ**と呼ばれます。このフィルタについては後述します。アナログ信号源のAC成分を取り出す場合や、DC電圧をカットする場合には、ハイ・パス・フィルタ(HPF)を使います。

フィルタ回路には、ADCを駆動する回路も含まれます。ここでは、インピーダンス変換を行い、ADCへ接続する信号の出力インピーダンスを下げます。また、マイコン内蔵のサンプル&ホールド回路をドライブする役割もあります。

それでは、各処理を構成する回路について詳細を見ていきます。



ADCのプリアンプ

OPアンプを応用した回路で、信号変換や信号増幅を行います。ここでは、アナログ信号源の出力電圧をADCの入力電圧範囲に合うように増幅するために必要な回路の基礎を解説します。