

デジタル信号を人に優しい アナログ信号に翻訳する——D-Aコンバータ



谷口研二

今ではどこの家庭にもあるCD オーディオの規格は、オランダのPhilips社とソニーが今から20年ほど前に決めたものです。その後、CDオーディオがあつという間に市場をせっけんし、LPレコードにとって代わるまでの期間はほんの2～3年だったように思います。この突然の変化は当時の音楽愛好家にとっては悪夢のようなできごとでした。それまで大量に購入したLPレコードに囲まれて幸せだった音楽愛好家は、急に襲ってきたデジタルという津波に押し流されてLPレコードを放棄せざるをえなくなったのです。一部の愛好家が「44.1kHzでサンプリングした16ビットのデジタル・データなんか音楽じゃない」と言って抵抗した気持ちもよくわかります。しかし、市場はとても非情でした。1990年代にはLPレコードがほとんど姿を消し、そのうちレコード針を販売している店もほとんどなくなってしまったのです。今ではCDオーディオの規格を超える「192kHzサンプリング、24ビット」のDVDオーディオも発売され、もうLPレコードが復活する道は断たれたと言っても過言ではありません。このようにオーディオの世界が急速にデジタル化されてきた背景には高速・高精度のD-Aコンバータが安価に販売されるようになってきたことが挙げられます。今回はこのD-Aコンバータについてお話しします。

前回(2002年12月号)解説したA-Dコンバータは、アナログ信号をデジタル(バイナリ)信号に変換するものでした。D-Aコンバータは逆にデジタル世界の標準語(バイナリ信号)を人間が理解できるアナログ信号に変換するものです。

D-Aコンバータは図1に示すように、

- バイアス回路
- デジタル-アナログ(D-A)変換回路
- 出力バッファ回路

から構成されています。その中でもっとも重要な回路ブロックがD-A変換回路です。

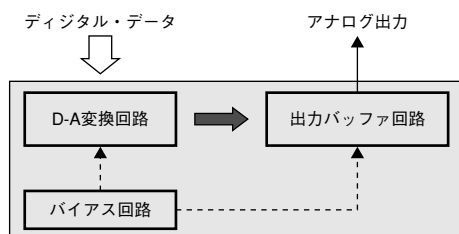
バイナリで表現されたデジタル・データをアナログ信号電圧に変換する回路には、表1に示すようにいくつかの方法があります。

- 1) 参照電圧を抵抗列で分圧する方法
- 2) 所望の数の電流源を抵抗に接続して電圧を取り出す方法
- 3) 電荷をキャパシタに蓄えて電位を発生させる方法

以下ではそれらの方式を個別に説明していきます。

参照電圧を抵抗列で分圧する方法

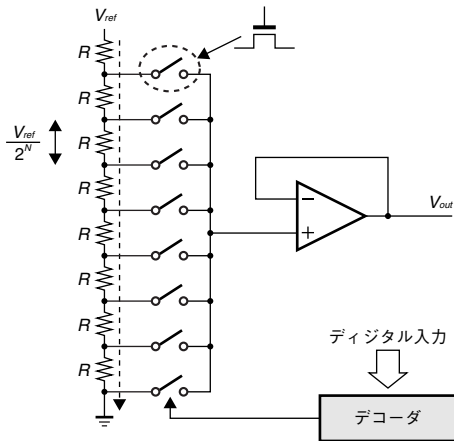
図2に示す N ビットのD-Aコンバータの例を取り上げてみましょう。



〔図1〕
D-Aコンバータ
の基本回路構成

〔表1〕D-A変換で用いられる基本物理量とD-Aコンバータを実現する具体的な回路方式

物理量	具体的な回路方式	原理
電圧	抵抗網(列)	電圧を抵抗で分圧
電流	電流源マトリックス回路	電流を抵抗に流して電圧に変換
電荷	スイッチト・キャパシタ回路	キャパシタに蓄積される電荷を電圧に変換



〔図2〕抵抗ラダーを使用したD-Aコンバータ

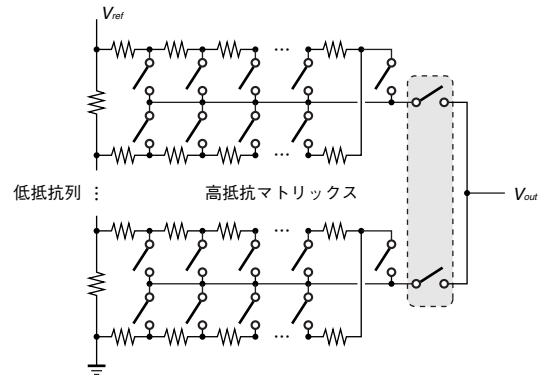
抵抗列で分圧された端子電圧を MOSFET スイッチで選択し、それをユニティ・ゲイン・バッファを介して出力する。

参照電圧 V_{ref} と接地との間に 2^N 個の等価な抵抗を配置すると、抵抗間に設けた各端子には $V_{ref}/2^N$ の整数倍の電圧が出てきます。これらすべての端子に MOSFET スイッチを取り付け、どれか一つのスイッチを ON にすると $V_{ref}/2^N$ の整数倍の電圧を任意に取り出すことができます。

デコーダは、 N ビットのデジタル・データから1個のスイッチを選択する回路です。しかし、このデコーダで選択された端子電圧をそのまま出力端子を通して外部に取り出しても、出力に接続する負荷のインピーダンスによって出力電圧が大きく変化してしまいます。これを避けるために実際の回路では、選択した電圧を OP アンプの非反転入力端子に接続し、OP アンプをユニティ・ゲイン・バッファとして動作させます。こうすると出力端子に接続した負荷インピーダンスに関係なく MOSFET で選択された端子電圧が正確に出力されます。

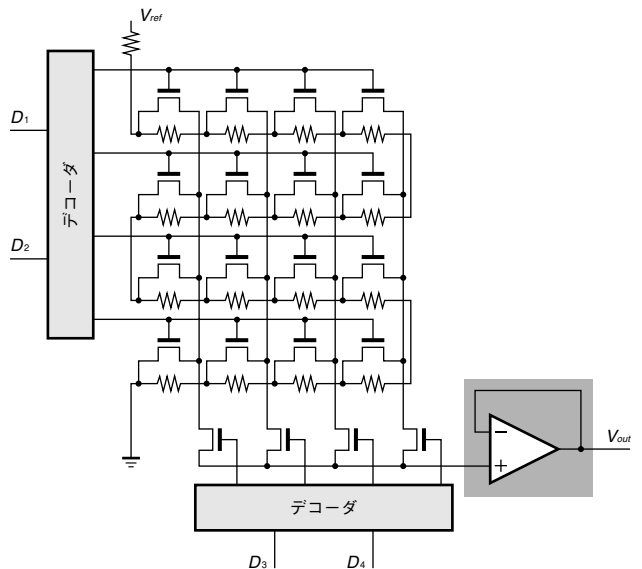
しかし、この単純明解な D-A コンバータにも問題があります。10 ビットになると、MOSFET スイッチの数が1,024 個にもなり、OP アンプの非反転入力端子の負荷になる MOSFET スイッチの拡散容量が大きくなり過ぎるのです。この拡散容量とそこに接続された抵抗成分 (MOSFET スイッチの ON 抵抗と抵抗列) による RC 時定数によって、MOSFET スイッチを切り替えても安定な電位になるまでの時間が長くなります。

この問題を解決するために、図3に示すような抵抗ラダー方式の D-A コンバータや図4のマトリックス抵抗を用いた D-A コンバータが提案されています。双方とも上位のデジタル・ビットでおおまかな電位領域を選択し、さらに



〔図3〕低抵抗ラダーと高抵抗マトリックスを使用したD-Aコンバータ

上位ビットで右端の点線枠内のスイッチを一つ選択し、下位ビットで高抵抗マトリックス中の出力を一つ選択する。出力端子 V_{out} に接続される拡散容量が減ることで高速動作が可能となる。



〔図4〕抵抗マトリックス方式によるD-Aコンバータ

上位ビットのデータから1本の列を選択し、下位のビットデータから1本の行を選択する。

下位のビットの指定によって所望のタップを選択します。上位と下位のビットに対応する MOSFET スイッチを分離することで、OP アンプの非反転入力端子に直接接続される MOSFET スイッチの数が減り、高速に D-A 変換することができます。なお、選択された端子電圧は図2に示した例と同様、ユニティ・ゲイン・バッファを介して出力します。

電流源を用いたD-Aコンバータ

もう一つの方法は電圧の代わりに離散的な電流源を用い、それを電圧に変換する方法です。つまりデジタル・デー