



第2章 特集 オーディオ用 Δ - Σ 型DACを開発した!

FPGAに実装できる D-Aコンバータ・コアの開発

～ヘッドホン・アンプを内蔵して完全デジタル化～

篠原慈明

ヘッドホン・アンプを内蔵したオーディオ用 Δ - Σ 型D-Aコンバータをとりあげる。これはRTLソース・コードで提供されるソフトIPである。D-AコンバータとD級アンプをFPGA上に1チップ化することを前提にして設計されたものである。つまり、すべてがデジタル回路で構成されているところが、一般的な Δ - Σ 型D-Aコンバータと大きく異なる点である。筆者はこれをFPGAに実装し、実回路を試作した。(編集部)

はじめに

アナログ回路を必要としないオーディオ用D-Aコンバータを試作しました。最大の利点は論理合成により、D-Aコンバータを実現できることです。すなわち、①FPGAの中にD-Aコンバータが入ってしまう、②ASICでは専用のハード・マクロ・セルがなくてもよい、③アナログのテストをする必要がないなど、いろいろなメリットがあります。

オーディオ用D-Aコンバータは、分解能が16ビット程度と非常に高く、ほとんどが専用のミクスト・シグナルICとして開発されます。つまり、ICにはデジタル回路とアナログ回路の両方が内蔵されています。

本稿では、なぜアナログ回路を必要とせずに(正確には必要だが)D-A変換ができるのか、またオーディオ用として要求さ

れる高い精度をどうやって作り出すのかを説明します。また、技術的背景についても説明します。

半導体プロセスの進化＝ なんでもかんでもオンチップ?

最近、半導体プロセスの進化により、なんでもかんでも1チップにしてしまう動き、いわゆるSystem On a Chipがあります。そのため、ASICのライブラリ(IPコアを含む)として、ソフト・マクロ、またはハード・マクロを利用するケースが増えてきています。

1チップ化というと、マイクロプロセッサを中核にして、周辺機能のデジタル回路がまず取り込まれます。優先度ではアナログ回路が取り込まれるのはその後です。ところが、プロセスの進化＝低電圧＝アナログ回路が実現しづらい、という関係があり、なかなか簡単にはいきません。

CMOSプロセスにおいて、0.5 μ mまでは5Vの電源電圧が使えました。これが0.35 μ mからは3.3Vとなり(一部デュアルゲート・プロセスで5Vの回路を組むことも可能)、ディープ・サブミクロン(0.25 μ m以下)時代になって、さらに低電圧化が進んでいます。1チップ化したいというニーズは高まるものの、プロセスが進化すればするほどアナログ回路をオンチップ化することが困難になってしまいます。つまり、プロセスの進化に追従できるアナログ回路は、だんだんと減ってきているのです。

デジタル回路の場合は、「プロセスの微細化＝高密度化＝配線容量減少＝低消費電力化」となります。しかし、アナログ回路の場合は、「プロセスの微細化 \neq 高密度化」なのです。さらにプロセスの進化とともに単位面積あたりのコストが高くなるので、オンチップするより外部ICのほうが安くなる可能性もあります。ただし、プロセス進化に伴い、加工精度が上がり素子間の相対誤差が小さくなるという利点、または高速なアナログ回路が実現しやすくなる利点などはあります。

このような背景から考えると、

アナログ回路は「プロセスの微細化 \neq 高密度化」なんだな



「プロセスの進化により1チップ化が進むのはデジタル回路のみではないか？」

「限られたアナログ回路のみしかオンチップ化できない？」
などの疑問が生じます。今後のアナログ回路IPの動向を予測

することはできませんが、今までとは違った技術の壁が存在することはまちがいなさそうです。

その壁を乗り越えた一例が、これから説明するD-A コンバータです。

1 オーディオ用D-Aコンバータの世界

D-A コンバータの種類

●用途による使い分け

D-A コンバータとは、デジタル・データに対応したアナログ電圧、または電流を出力する部品です。デジタルからアナログへの変換には、いろいろな方式が存在します(表1)。どの変換方式を使って実現するかは、変換速度、分解能、重要視されるパラメータで決まってきます。

たとえば、“ビデオ用”では、高速な変換が可能な電流セル・マトリクス型が使われるのが一般的です。

また“工業用”では、R-2Rラダー型、キャパシタ・アレイ型、 Δ - Σ 型などがよく使われています。ビデオ用とは違い、DC精度が重要視されるためです。

“オーディオ用”の場合は、セグメント+R-2R型、 Δ - Σ 型が使われています。とくに最近では、ほとんどが Δ - Σ 型となっています。セグメント+R-2R型は、抵抗の相対精度が特性に影響します。したがって、精度(たとえば、16ビット精度であれば $\pm 0.00076\%$)に調整するためには、高価なレーザー・トリミング技術が必要になります。このため、最近では少なくなっています。 Δ - Σ 型の場合、後で詳しく説明しますが16ビット・データを1ビットまで圧縮することで、素子の相対誤差の影響を受けなくなり、IC化しやすくなります。

一昔前であれば、オーディオ用D-A コンバータは、CD / MD / LD プレーヤ、BS チューナ、電子ピアノ(楽器)、ゲーム機などで使われていた程度でした。しかし、最近ではDVD

オーディオ、MP3 プレーヤ、デジタル・テレビなど、少しずつではありますが市場は拡大しています。また、DVD オーディオでは高音質が求められ、MP3ではバッテリー寿命を延ばすために低消費電力が求められているといった要求の違いも出てきています。

デジタル録音されたソースを再生する際には、デジタル信号をアナログ信号に変換しないことには、人間の耳で聞き取れません。こう考えてみると、D-A コンバータは、とても重要な部品の一つといえます。

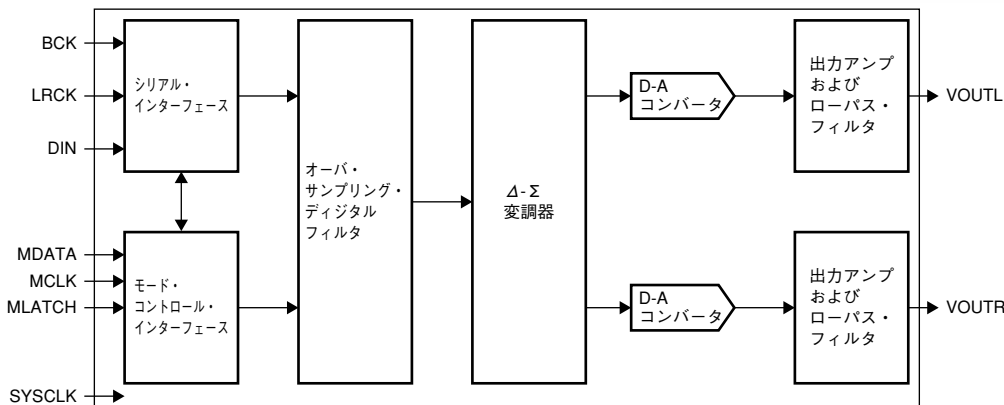
● Δ - Σ 型D-A コンバータの構造

最近のオーディオ用D-A コンバータ、すなわち Δ - Σ 型D-A コンバータのブロック図を図1に示します。

一般的なオーディオ用ソース(たとえばCD)のデータは16ビットで、サンプリング周波数(以後 f_s)は44.1kHzです。こ



2



〔図1〕
一般的なオーディオ用D-A
コンバータのブロック図