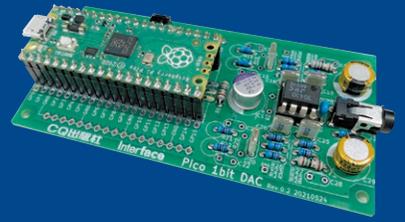


サンプリング・レートの切り替えからノイズ低減、ハイレゾ対応まで!

ダウンロード・データあります

ラズパイPico DAC [完全版]の製作

第9回(最終回) ひずみ率0.002%! $\Delta\Sigma$ 処理の高次化

geachlab

表1 改善ポイントごとの新旧信号処理の比較

| 改善ポイント | 旧処理(pico_1bit_dac_hr.uf2) | 新処理(pico_1bit_dac_hr2.uf2) |
|-------------------|---|---|
| 音量処理最適化 | 音量の分解能不足(91ステップ) 高負荷=低速(64ビット乗算&シフト処理) 100%音量でビット落ち発生 | 高分解能化(1441ステップ) 低負荷=高速(32ビット乗算&シフト演算) 100%音量ビット・パーフェクト化 |
| オーバーサンプリング | 64倍2次曲線補間+9~13タップ補正フィルタ | 連結ハーフバンド・フィルタによる 高精度オーバーサンプリング |
| $\Delta\Sigma$ 変調 | 3次 $\Delta\Sigma$ +4ビットPWM | 4次 $\Delta\Sigma$ +5ビットPWM |

本誌2021年8月号の特集 第6部 第1章(以下, 初出記事)で, ラズベリー・パイPicoを使ったUSBオーディオDAC「ラズパイPico DAC」の製作記事を掲載しました。

初出記事では, USBオーディオDACの原理実装に注力したので, 機能や性能は限定的でした。サンプリング・レート/分解能は48kHz/16ビットの一択で, 簡易な $\Delta\Sigma$ 変調による可聴帯域の残留ノイズや, 電源構造由来の残留ノイズなどの課題も残っています。本連載では, これらの課題を解決してラズパイPico DACを進化させる方法を紹介します。(編集部)

● 今回やること… $\Delta\Sigma$ 処理の高次化

今回は表1に示すラズパイPico DAC信号処理改善のうち, オーバサンプリングの後段処理と, PDM変換($\Delta\Sigma$ 変調+PWM)の改善を紹介します。オーバサンプリングの前段処理については, 連載第8回(本誌2022年12月号)を参照してください。

図1にCore1処理の新旧比較を示します。図1(a)の旧処理では, Core1内で入力 f_s (サンプリング周波数)に応じた16~64倍の変可変オーバーサンプリング(2次曲線補間)をしています。

図1(b)の新処理では, Core0で2~8倍の変可変オーバーサンプリング, Core1で8倍の固定オーバーサンプリングをするように処理を分担しました。これにより, Core1へのPCM入力は $8f_s = 384\text{kHz}$ 固定となり, 入力 f_s に応じた変可変処理などが不要となります。また, Core1のオーバーサンプリング処理も高負荷な2次曲線補間ではなく, 低負荷なSH(Sample Hold; サンプ

ル・ホールド)または, 直線補間が使えるようになります。これらの処理変更により, Core1のリソースが解放され, Core1内で高次な $\Delta\Sigma$ 処理ができるようになります。

① PDM変換処理の改良(Core1)

● 8倍オーバーサンプリング処理

▶ サンプル・ホールドをCore1に実装している

本連載の第8回で解説したオーバーサンプリング手法は, 図1(b)のような2~8倍可変のHBF(Half-Band Filter; ハーフバンド・フィルタ)1~3と, 8倍固定のSHの連結構成です。高負荷なHBF1~3はCore0に, 低負荷なSHはCore1に実装します。

▶ 念のため直線補間(LI)も試してみる

SHは, キューから引き取ったPCMデータを単純に8回繰り返し利用(0次ホールド)するだけなので, 演算は発生せず低負荷で実装可能です。しかし, SHは1次Sinc関数に従うLPF(ローパス・フィルタ)特性を持ち, 192kHz以上の高周波領域に折り返し成分が発生します。折り返し成分は, 可聴帯域およびハイレゾ帯域の外に発生しますが, 念のため図2のようなPCMデータの直線補間(Liner Interpolation, 以下LI)も検討します。LI処理は, RP2040のInterpolator(補間器)にオフロードでき, 低負荷で実装可能です。

● $\Delta\Sigma$ 処理…4~5次 $\Delta\Sigma$ への対応

旧処理は4ビット量子化+3次 $\Delta\Sigma$ 固定でしたが, 新処理では5~6ビット量子化+4~5次 $\Delta\Sigma$ に対応