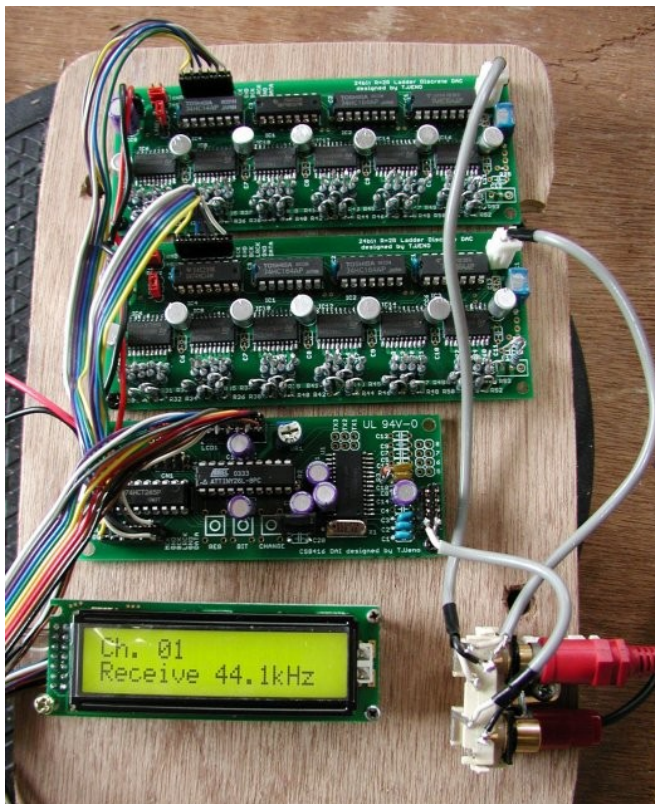


24bit R-2R DAC 製作記

16bit DAC に続く第2弾のディスクリットデジフィルレスの DAC 基板を分けていただいたので早速組み立ててみた。今回の特徴は何と言っても 24bit の分解能が取れる?こととデジタル SW となるラッチ部分の出力を 4 パラとしたことだろう。



特徴

1. ディスクリット R-2R による 24bit DAC
2. デジフィルレス
3. 左右独立 DAC 基板(セパレーション向上)+コントロール基板
4. デジタル、アナログ電源分離が可能
5. 8ch 入力 & 1 出力のデジタルセレクター機能
6. 入力チャンネル、fs、信号状態表示

といろいろ魅力盛りだくさんの基板だ。

製作前準備

1. 抵抗選別の方法は？

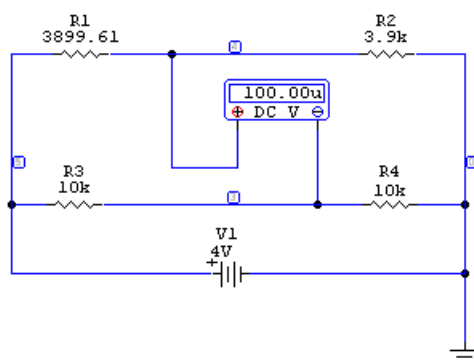
折角の 24bit 分解能の DAC だが市販のディスクリート抵抗を使う限りこれを完全達成するのは絶対に不可能に違いない。それは解っているが、折角のハイビット DAC なので極力精度を上げることを考える。

まあできれば 16bit 精度を狙いたい所だがそれを出すには MSB の抵抗の精度を 0.003%以下にしなければならない。流石に通常の抵抗ではそこまでの精度が出ないので、今回は 14bit 確保の 0.01%精度を目標に選別することにする。

0.01%精度にしてもダイレクトに測定するには通常のマルチメータでは無理で 5、6桁表示の高精度のものが必要になる。これでは誰でも簡単にというほど手軽ではない。そこで何とか安上がりのできる方法を工夫してみたのが以下のやり方。

つまりこの R-2R の抵抗値は絶対精度ではなく相対精度が取れていれば良いのだから、測定に簡易ブリッジ方式を使うことを考えた。これなら比較で安価なマルチメータでも目的を達することが出来るだろう。

2. 選別方法



ブリッジによる測定は左の図の様に R2～R4 を基準抵抗として R1 を測定抵抗とするやり方である。R1 と R2、R3 と R4 の値が等しければブリッジがバランスしてマルチメータには電圧は出ない。もちろん基準抵抗の精度は問題になる。今回は手持ちのビシュイの 0.1%精度の箔抵抗を利用したが、相対精度だけなら DAC

に使用するために購入した抵抗から使っても良さそうである。

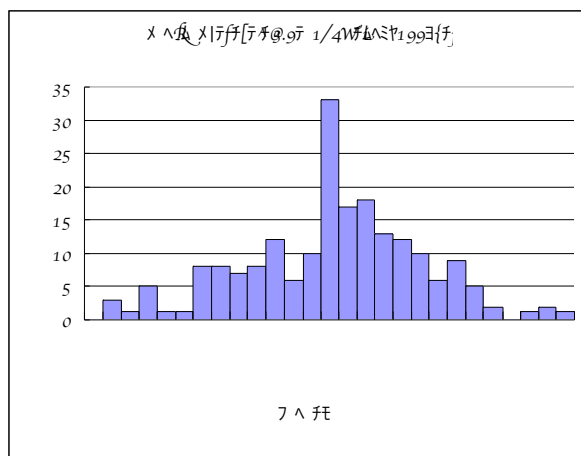
実際使用する抵抗値の値をどこにするかは悩ましいものがあり決定打はまだ不明。大きい値のほうが精度は出るが、ノイズや周波数特性点では不利になるかもしれない。今回は基準抵抗に使用した関係から R=3.9kΩ とした。

それでは実際の測定はどうするかというと、図の様にもし測定抵抗が基準抵抗と同

じならブリッジはバランスしてマルチメータの値は 0V になるはずだ。そこにもし-0.01%の誤差があれば計算ではマルチメータの部分の電圧は 0.1mV となり、丁度これが抵抗精度となり直読で測定することが出来る。大体安価なマルチでも 0.1mV の分解能はあるので、これで 0.01%精度が測定できることになる。

もちろん抵抗は温度特性があり、この精度では温度も微妙に影響する。それで測定抵抗は室温に一定時間放置して、測定も同じようなペースで行なう。また購入した抵抗は全数をいちどきに測定する必要がある。100 円ショップなどの小箱をたくさん用意して、各々に精度ラベルを書いた物を貼っておけば測定後そこに放り込むことで効率的に分類ができるだろう。

3.測定結果



千石の 100 本 300 円の 1%精度の金皮抵抗 200 本を測定してその分布を表したのが左図。1%保証のはずだが全部 0.1%に入るのではないかと思えるほどびっくりするように精度が良い。確かにちゃんと計算しても異常値の 1 本を除くと標準偏差 0.033%とほぼ±0.1%範囲に入る分布であることがわかる。

ただしそれでも今回の目標の 0.01%には流石にこのまま無選別で使えるというわけではない。ここで又一工夫。まず R に使用する抵抗はセンターの中央値の 0.01%範囲前後のものだけを使用する。そして 2R にあたる抵抗は残りのプラスマイナスにずれた 2 本の 3.9kΩ の直列組み合わせで 0.01%精度になるようにすることができる。こうすれば抵抗を無駄なく使えるし、測定の手間もそれにあわせて少なくなる。

通常、選別品は取れる本数が少なくなるからまともにやっていると測定が必要本数の数倍となって大変だ。また 2R を直列でなく R の 2 倍の値の抵抗を探すと丁度良い組み合わせが少ないし、センターがずれたらもうお手上げである。この選別方法が一番合理的で経済的だと思う。

今回結果としてこうする事で 0.01%の高精度をたもちながら抵抗の使い捨てが少なくなるようにできたので必要本数 144 本がラッキーなことに 200 本の購入抵抗の中から選別することができた。

更に、今回はスイッチ部分にあたる CMOS のラッチ 74AC574 の内部抵抗は4パラのためはかなり小さくなっているとはいえその分はまだ約 2.5Ω (0.03%相当)も残っている。ここでスイッチと直列になる2R側をこの抵抗分つまり0.03%低い値になるよう組み合わせるようにすれば、スイッチを含めたラダー抵抗全体の精度を上げることができる。

まあこの様に幸運にも購入した抵抗精度が良かったので目標達成はできたが、実は全部の抵抗を超高精度にする必要はない。本来上位 8bit 程度は 0.01%以上の精度が必要だが中位 8bit は 0.1%下位 8bit は 1%もあれば充分ともいえる。購入した抵抗の精度分布によっては全数精度保証する必要はないので、上位から精度の良い組み合わせを選んでも充分精度は満足できるだろう。必ずしも総ての抵抗がこの様な精度になっているとは限らないので他のロットの抵抗でもそう考えれば充分製作可能だろうと思う。まあ後に述べる理由で今回はなるべく精度を落とさないようにした。

組立

なんと言っても組立はハンダ付けが命だ。今回は特に 0.8mmピッチのフラットパッケージが多いので鑊には注意する必要がある。私が使ったのは ANTEX の 15W、で鑊先が一番細いのを使った。まあここは使い慣れたもので先端が細めの方が作業効率が良いだろう。チップの位置出しをして載せ、対角線のリードを仮固定してから残りをハンダ付けするとやりやすい。それと拡大鏡は別に老眼で無くとも必需品。ハンダ付け後の確認はぜひ行なわないと後で苦勞する。半田の量は少なくとも良いがよく流れているかが肝心。吸取り線もブリッジが出来たときの処理に有ると便利。

また抵抗の足の半田もパッドが小さいので、全周に半田が流れているかこれもよく確認してみることが大事。基本的に半田が付いていて部品間違いが無ければ必ず動く。これが基板のありがたいところだ。

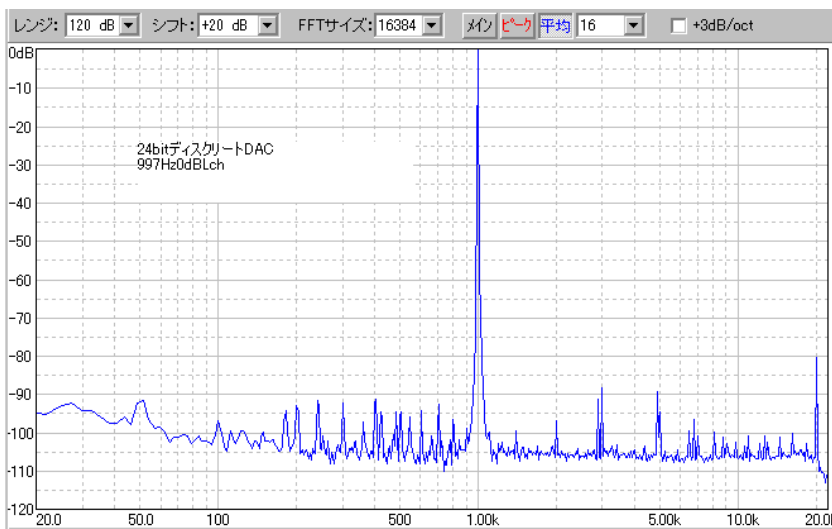
仕上

抵抗精度を追い込んで組み立てた成果はどのようなか確認してみた。肝心なのは結果である。いくら選別してみたところで結果が良くなければ何の意味も無い。

もちろん MSB の調整はキチンと行なう。最上位の抵抗値を-0.13%狙いとして調整 VR は 20Ω とした。ここまで行けば多回転の VR で無くとも良さそうだ。実際、計算値からはプラマイ 2,3Ω のずれで調整できた。

これも本来の性能を出すにはオシロを見ながら行なう必要がある。わずかな調整ずれでもリニアリティに影響が出てしまう。私は最終的に固定抵抗にした。

歪率データ



0dB 997Hz のテスト信号の再生音をパソコンでFFTした物が左図。3.5次で-90dB程度とまあまあ。20kHz近辺のピークは折り返しノイズ。

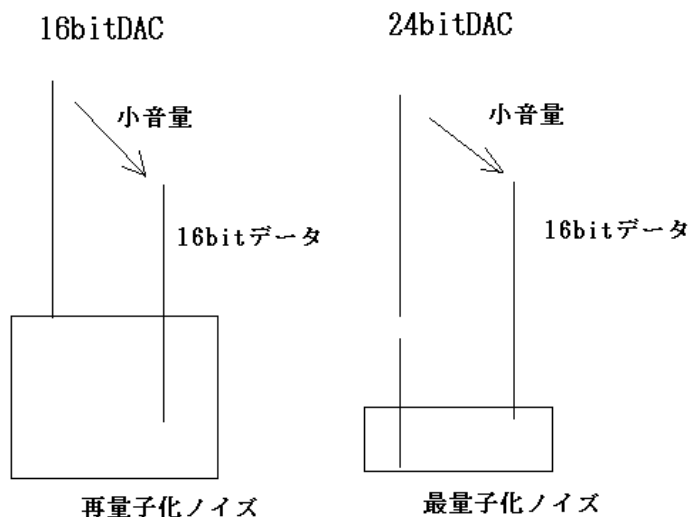
-60dBの信号だともう少し歪みは小さくなるが、24bit

データがないので厳密な所はよくわからない。

リニアリティのグラフは載せていないが-90dBまでほぼリニアである。この辺前回の16bit無選別だと-60dBあたりから怪しくなっていて10bit精度が良い所だったが、多分今回は15bitぐらいまではいっていると思う。

ただしノイズはまだバラックの為か数mVと結構大きい。この辺はケースに入れてみてどの程度になるかが楽しみだ。

24bitDAC の意義



最後に 24bit DAC の意義を考えてみた。つまり CD のデータが 16bit しかないのに DAC で 24bit の必要性が本当に有るのか、ましてや 24bit 精度はとても出ない DAC にその意味があるか疑問に思われるからだ。

通常の CD 出力をノンオーバーサンプリング、ノンデジフィルで使うなら勿論 24bit 化はあまり意味がない。しかし、デジフィルもオーバーサンプリングも果た

して無いほうが良いかどうかは場合によると思う。オーバーサンプリングはこのままでも折り返しノイズを高域に追いやってフィルターの効きを良くすることができるので有効だ。その場合には 24bit データのソースが無くとも DAC で 16bit に足切りするのは再量子化ノイズの増加を招き得策ではない。できればやはり DAC では多くの bit が再生されることが望ましいと思う。

更に 24bit 精度が出ていなくとも MSB さえ合わせ込めていて、相対精度さえ取れていれば再量子化ノイズはその分低減される。解りやすく言えば微小音になった場合、24bitDAC であれば絶対精度が 16bit でも最大音から常に理論的なダイナミックレンジは 16bit 分確保されるので再量子化ノイズが増えることが無い。デジタル VR などを使う場合に有効に利用できる。この辺はデジタルチャンネルデバイダなどの 24bit 処理データの再生などにも威力を発揮するはずだ。今後 24bit ソースの出現にも期待したい。

試聴記

手前味噌だが今回の DAC はとっても音がいい。ノンオーバーディスクリートの特徴とも思える切れの良い音に加え歪みも少ないのですっきりとした音が楽しめる。実は本家の回路に若干改良を加えている。そのままだと LR のラッチタイミングは fs の半クロックずれているが、Lch にゲートを 1 個足して不要の Rch のデータがシフトレジスタに流れるのを防ぎ Rch と同じのタイミングでラッチしてある。この方がシフトレジスタの動きは半分ですみ、電流つまりノイズも減る。同様に Rch も Lch のデータをマスクしてある。

もう一つ改良点ではないが使いこなしとして折角ついている LCD だが外した方が音は良くなる。いっそのこと CS8416 もハードウェアモードで動かしマイコンも無いほうが音のためだけには良くなるかもしれない。まあいろいろ手を尽くせばこの DAC は軽く 20 万円クラスのものと同様に張れる音は出ると私は思う。