



抵抗の熱雑音が見える! 1 nV/√Hz低雑音プリアンプ

小川 一郎(おじさん工房) ojisan-koubou

信号が小さいと、回路の内部雑音に紛れて、うまく観測や処理ができません。そのようなときは、低雑音アンプで信号を増幅してやる必要があります。

ところが、超低雑音OPアンプのほとんどは、バイポーラ・トランジスタ入力のタイプです。汎用的に使えるFET入力のOPアンプでは、少しノイズの多い製品しかありません。

そこで、ディスクリートのトランジスタを使い、超低雑音なアンプLNA-1(写真1)を作りました。低雑音アンプを設計するときの考え方を解説します。
(編集部)



写真1 製作した10 Hz~1 MHz, 1 nV/√Hzのロー・ノイズ・アンプLNA-1(ケース付き組み立てキットを発売予定.詳しくは稿末のコラムを参照)

製作の動機と本器の魅力

● 50Ωの熱雑音1 nV/√Hzを目指して

1 nV/√Hzの雑音密度のアンプは、50Ωの抵抗の熱雑音と同じくらい低雑音のアンプです。といわれても、良くわからないかもしれません。そこで、1 nV/√Hzが果たしてどの程度の値なのか、CDと比較してみます。

CDの理論的S/Nは、量子化ビット数16ビットから計算できる量子化雑音で決まります。余談ですが、S/Nはノイズ・シェーピングをしても変わりませんし、ディザを入れても悪くなるだけです。ただ量子化雑音が白色雑音だという仮定は誤りだと思っています。

$$S/N_{(CD)} = 6.02 \times 16 + 1.76 \approx 98 \text{ dB}$$

CDの出力が1 V_{RMS}のとき量子化雑音電圧 $v_{N(CD)}$ は、

$$v_{N(CD)} = 10^{-98/20} \approx 13 \mu\text{V}_{RMS}$$

となります。一方1 nV/√Hzのアンプで1 V_{RMS}を出力し、CDと同じ22.05 kHz帯域とすると、

$$v_{N(LNA)} = 1 \text{ nV} \times \sqrt{22.05 \text{ k} \times 10^3} \approx 148 \text{ nV}_{RMS}$$

$$S/N_{(LNA)} \approx -20 \log(148 \times 10^{-9} \text{ V}) = 137 \text{ dB}$$

となります。

低雑音化は山登りと同じ! 0.5 nV/√Hzの世界を見てみたい

入力換算雑音密度が1 nV/√Hzというのは、今までではなかなか到達困難な値でしたが、近年はデバイスの性能が良くなってきて、本稿で紹介するように割と簡単に作れるようになりました。

しかし、これをさらに半分の0.5 nV/√Hzにしようとするとまだなかなか難しいです。イメージ的に

は富士山とエベレストのような差でしょうか、高さが倍になっただけで、難しさは天と地です。

私の次の目標は切りのよい0.5 nV/√Hzですが、これが達成できたとして、何が新たに測定できるようになるのかはわかりません。何のためにつくるのかと言われたら、そこに山があるからかな…