

RAQ's

Rarely Asked Questions

アナログ・デバイスに寄せられた珍問／難問集より

抵抗ノイズが耳をつんざくような大きさと、小さくできない

Q.私の低ノイズ・アンプはあまり低ノイズではありません。どこか間違えているのでしょうか？

A.トラブルの原因はアンプではないかもしれませんが。ノイズが本当はどこから来ているかを解析してください。典型的なオペアンプ回路には、相関性がない6つのノイズ源があります（もっと小さいノイズ源は一般に無視できます^[1]）。アンプ自体には、3つの別々のノイズ源があります。電圧ノイズ源は入力の両端子（反転および非反転端子）間の差動として現れます。また、電流ノイズ源は反転入力と非反転入力に対して直列に現れます。ほとんどの場合、問題はアンプではなく、アンプのゲインを設定してバイアス電流補償を行う3本の抵抗の1本または数本によって生成される熱ノイズによるものです。アナログ・デバイスには、1kΩ抵抗のノイズ（ $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）よりも小さい電圧ノイズを備えた60種類以上のオペアンプがあります。

この答えはあまり好評を博さないでしょうね。抵抗のような明らかに単純なコンポーネントに基本的な問題があると認めるよりも、不完全なアンプを非難し、もっといいアンプに置き換えるように勧めるほうがはるかに満足してもらえるものですから。とにかく、抵抗ノイズの診断に対する大概の答えは、「良い」抵抗源を探しなさいということでしょう。ちなみに、ここでいう「良い」とは熱ノイズがないということです。

しかし、これは不可能なことです。その基本的な物理特性^[2]により、抵抗では導体内の電荷キャリアのランダムな熱移動によって、必ず $\sqrt{4kTBR}$ の電気ノイズが発生します。kTBRのkはボルツマン定数（ $1.38065 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ）、Tは絶対温度、Bは帯域幅、Rは抵抗値です（通常このノイズはスペクトル密度に換算して表され、電圧ノイズは $\sqrt{4kTR} \frac{\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ となります）。

このようなノイズは熱ノイズと呼ばれますが、これを初めて発見したジョン・B・ジョンソン（ベル電話研究所－1928）にちなんでジョンソン・ノイズとも呼ばれます。それよりも、ジョンソンの発見の物理的根拠を説明したのはハリー・ナイキスト（やはりベル研究所）だったことから、ジョンソン／ナイキスト・ノイズと呼んだほうが適切かもしれません。



したがって、回路内に抵抗があれば、電流を流しているかどうかにかかわらず、どんなものにも出力電圧ノイズ・スペクトル密度 $\sqrt{4kTR}$ のノイズ発生源が存在することになります。ノイズを小さくするには、抵抗を減らします（これによって電流や消費電力が増加することがあります）。しかし、温度を低くすることはほとんどできません（抵抗を室温298Kから液体窒素温度77Kまで冷やしても、ノイズ電圧は室温のときの値の半分以上もあります）。それに、もちろん私たちにはボルツマン定数を変えることはできません。なにしろ、ボルツマン教授はすでにお亡くなりになっているのですから^[3]。

^[1] ノイズの最大値の1/3未満のノイズ源は、大概の実用的な目的では無視できます。

^[2] <http://www.physics.utoronto.ca/~phy225h/experiments/thermal-noise/Thermal-Noise.pdf>

^[3] トリエステの近くのドゥイーノで1906年9月5日に死亡、ウィーンの中央墓地に埋葬されました。



筆者紹介：

James Bryantは、1982年からアナログ・デバイスの欧州地区アプリケーション・マネージャを担当しています。リーズ大学で物理学と哲学の学位を取得し、さらにC.Eng.、Eur.Eng.、MIEE、FBISの資格があります。エンジニアリングに情熱を傾けるかたわら、アマチュア無線家でもあり、コールサインG4CLFを持っています。

この記事に関する

ご意見・ご感想は、

marcom.japan@analog.com

までお寄せください。

その他のRAQについては、

www.analog.com/jp/RAQ

をご覧ください。

ノイズの詳細については、
下記 Web サイトをご覧ください。

www.analog.com/jp/RAQ/Issue25/info

**ANALOG
DEVICES**

www.analog.com/jp