



13 増幅回路の雑音

馬場 清太郎
Seitaro Baba

はじめに

電子回路では、必要とする信号以外の電気的信号を雑音(ノイズ)と呼びます。不要なものはないほうがよいですから、出力に現れる雑音を低減する「雑音対策技術」はとても重要です。

雑音の文献では、統計学の知識が必須ですが、ここではそういった高度な定量的解析には触れず、定性的な話と実験をします。雑音に影響するパラメータにどのようなものがあるかを明確にするために、いくつか数式を示しましたが、これらは定量的な解析のためではありません。というのは、雑音に影響する要因には他にもたくさんあり、一筋縄ではいかないからです。興味のある人は、稿末の参考文献(3)または(4)を参照してください。

テーマは真性雑音

● 誘導雑音以外の雑音「真性雑音」

図13-1に示すように、雑音にはさまざまな種類があります。

発生源で分けると「外来雑音」と「内部雑音」の2種類あります。

外来雑音は、差動増幅回路の解説(連載第5回、2002

年5月号)のときに、信号線に乗ってくる雑音対策について触れました。外部からの磁気誘導に関しては連載第10回(2002年10月号)が参考になります。そのほか、電源ラインに乗ってくる雑音もあります。

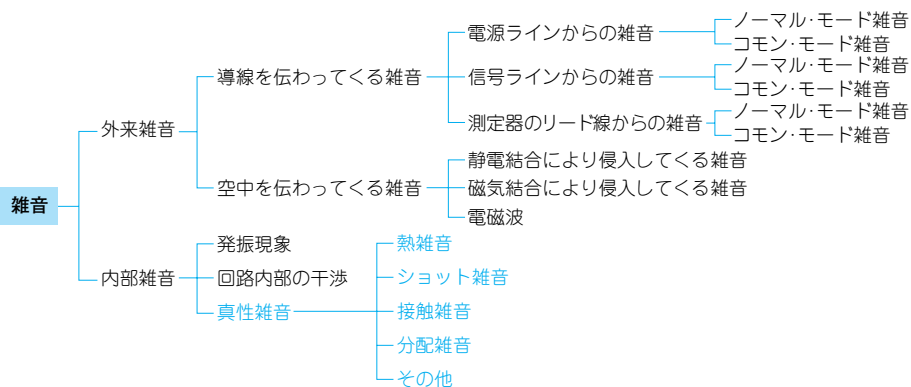
増幅回路自体から発生する内部雑音についても、内部回路どうしの誘導や発振などがあります。そのような「誘導雑音」をすべて対策しても、除去できない雑音が「真性雑音」です。真性雑音はすべての電子部品から発生しており、**回路の理論的最低雑音レベルを決定します**。ここでは、真性雑音について説明します。

● 真性雑音の構成要素

図13-1に示すように、増幅回路の真性雑音は、熱雑音、ショット雑音、接触雑音、分配雑音が主要な雑音源です。これらの真性雑音のうち、どれが一番影響の大きい雑音源でしょうか？それは要求仕様と設計によります。

ただし、一般的な低周波増幅回路では、**適切な低雑音OPアンプICを選択した場合、入力信号源抵抗による熱雑音が支配的**になります。例えば、後出の図13-12(b)を見るとわかるように、入力信号源抵抗1kΩ以上で、OPアンプIC自体の雑音は無視できるほど小さくなっています。

〈図13-1〉⁽²⁾ 雑音のいろいろ



真性雑音の性質

● 周波数特性

図13-2に一般的な増幅回路の雑音の周波数特性を示します。縦軸は単位帯域幅当たりの雑音電圧です。

数十Hz以下の低域では、 $1/f$ 雑音によって周波数が下がるほど増加します。 $1/f$ 雑音は周波数に反比例します。オーディオ帯域ではピンク・ノイズと呼ぶこともあります。

数十～数百kHzの中域では周波数の変化に対し一定の白色雑音が支配的です。白色光は周波数特性が一定なので、フラットな周波数特性を示す雑音のことをこのように呼びます。白色雑音の主な原因は熱雑音とショット雑音です。

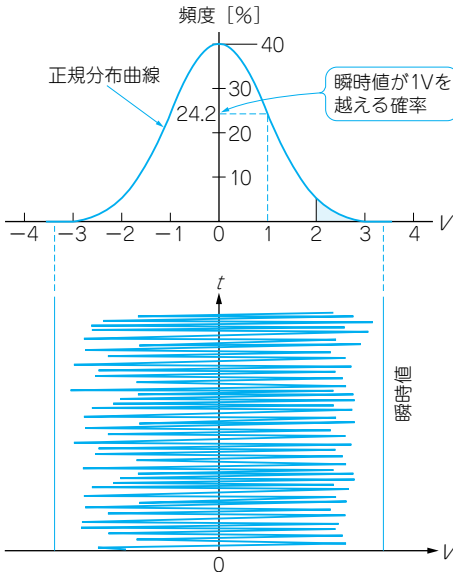
数百kHz以上の高域では、分配雑音によって周波数が上がると増加します。

雑音電圧密度の単位が $[V_{RMS}/\text{Hz}]$ ではなく、 $[V_{RMS}/\sqrt{\text{Hz}}]$ となっているのは、基本が電圧ではなく電力だからです。雑音電力密度の単位が $[\text{W}/\text{Hz}]$ となっていて、これの平方根($\sqrt{\quad}$)から雑音電圧密度を求めます。

〈表13-1〉正規分布している雑音の振幅頻度と波高率

頻度 [%]	波高率 $[V_{\text{peak}}/V_{\text{RMS}}]$
1	2.6
0.1	3.3
0.01	3.9
0.001	4.4
0.0001	4.9

〈図13-3〉増幅回路の雑音電圧の時間変化



● 時間変化

雑音の瞬時値は時刻の関数では表すことができませんが、瞬時値は確率的な取り扱いが可能です。したがって、図13-2にも示したように雑音レベルは実効値で表します。

▶ 雑音レベルは正規分布する

図13-3に、実効値 $1 V_{RMS}$ の雑音レベルの時間変化を示します。

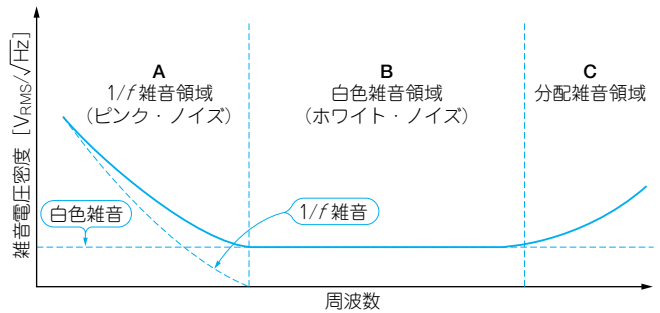
このように、雑音レベルを横軸にとり、発生頻度を縦軸にとると正規分布(ガウス分布)になります。これは雑音レベルが正規分布すると仮定しても、実際の雑音と矛盾しないことを意味しています。

▶ 実効値は尖頭値の約1/6

表13-1に、正規分布している雑音の振幅頻度と波高率を示します。これから、オシロスコープで雑音の尖頭値を観測して、その値の約1/6が実効値になることがわかります。

実効値は図13-3に示す雑音波形のだいたい1Vラインのところです。オシロスコープの波形を観測して、尖頭値(ピーク・ツー・ピーク)を観測した場合、発生頻度0.1～0.01%の波形を捕らえることとなります。表13-1を見ると、発生頻度0.1%のとき6.6 V_{P-P} 、0.01%のとき7.8 V_{P-P} ですから、捕らえた波形の尖頭値の約1/6～1/8を実効値つまり雑音レベルと考え

〈図13-2〉⁽¹⁾ 増幅回路の雑音電圧の典型的な周波数特性



〈図13-4〉雑音源が複数ある場合の総合雑音の算出方法

