

SPICE

実用電子回路講座



第15回 OP アンプから生じる雑音の解析

遠坂 俊昭
Toshiaki Enzaka

現在では、各種の高性能な OP アンプが市販されていますから、たいていの増幅回路はこれらを組み合わせることで実現できます。今回は、OP アンプを使って低雑音の増幅器を実現する方法を説明します。いくら低雑音の OP アンプを使用しても、設計方法を誤れば、低雑音の増幅器には仕上がりにません。

OP アンプから発生する雑音のいろいろ

● 二つの雑音「電圧雑音」と「電流雑音」

図 15-1 に示すのは、OP アンプの内部回路の例です。このように OP アンプはたくさんの抵抗や半導体で構成され、数段の増幅回路が接続されています。詳

しい動作は稿末の参考文献(1)を参照してください。

雑音は、これらすべての抵抗や半導体から発生します。特に初段で発生した雑音は、続く各段で増幅されて出力に現れるため、OP アンプの雑音特性にいちばん大きな影響を与えます。

OP アンプから出力される雑音を調べるとき、OP アンプ内部の各素子から発生する雑音を一つ一つ計算するのはたいへんです。そこで OP アンプのデータシートには、内部で発生した雑音がすべて入力で発生したと仮定して規定した雑音が記載されています。これを入力換算雑音電圧密度といい、入力を短絡したときに OP アンプ出力に現れる雑音電圧密度(各周波数における 1 Hz 当たりの雑音電圧)を OP アンプのゲイン

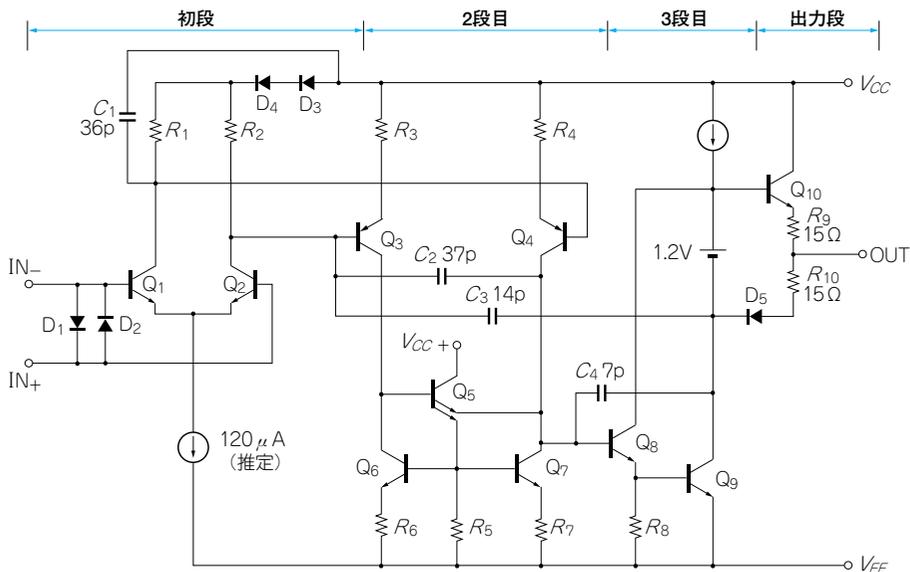


図 15-1 (1) OP アンプを構成するトランジスタや抵抗からは雑音が出る

Keywords

入力換算雑音電圧密度, フリッカ雑音, ショット雑音, 分配雑音, μ PC816, LF356

で割ったものです。

もう一つ忘れてはならないのは、図15-1に示す初期のトランジスタ Q_1 、 Q_2 のベースから流れ出る入力雑音電流です。この雑音電流は、信号源インピーダンスやゲインを決定する抵抗に流れて雑音電圧に変換され、OPアンプの入力に加わります。信号源インピーダンスやゲインを決定する抵抗値が高いほど、入力雑音電流が増幅器の雑音特性に大きな影響を与えます。

● 電圧雑音と電流雑音の周波数特性

入力換算雑音電圧密度や入力雑音電流密度は、抵抗で発生する熱雑音のように周波数に対して平坦な特性ではなく、図15-2に示すような周波数特性をもっています。

▶ 低域の雑音「フリッカ雑音」

低域になるにつれて大きくなる雑音は、フリッカ雑音と呼ばれます。周波数に反比例して大きくなることから $1/f$ 雑音とも呼ばれます。

一般的には、傾斜が -3 dB/oct. で、変曲点の周波数はOPアンプによって異なります。周波数が低くなるほど雑音密度が大きくなりますが、雑音の帯域幅としては狭いので、数十kHz以上の帯域幅をもつ増幅器では、出力雑音電圧にはあまり影響を与えません。しかし、数百Hz以下の直流量を扱う増幅器の場合には、出力電圧のふらつきとなって大きな影響を与えます。

▶ 中域の雑音「ショット雑音」

中域の雑音は周波数特性が平坦で、その発見者の

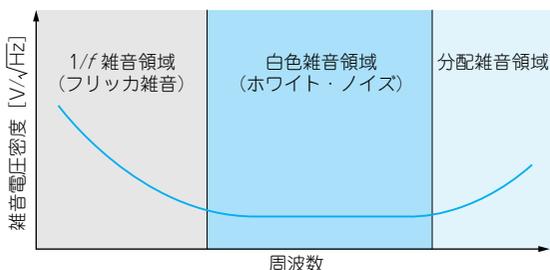


図15-2 OPアンプから発生する雑音の周波数特性
三つの領域に分けられる

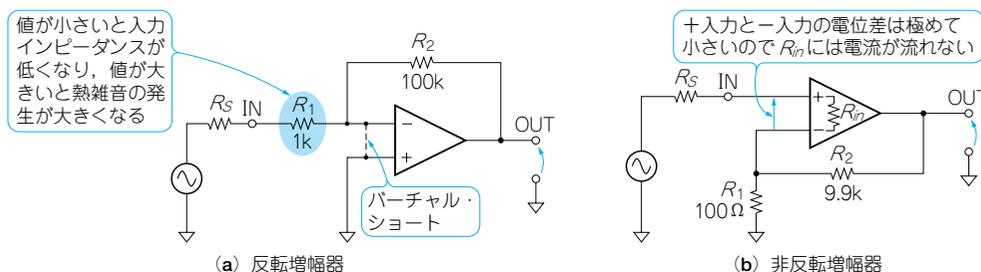


図15-3 非反転増幅器のほうが低雑音増幅器に適している

名前からショット雑音と呼ばれます。雑音密度は一番小さいですが、フリッカ雑音に比べて広い帯域幅を占めるので、出力雑音電圧に一番大きな影響を与えます。

▶ 高域の雑音「分配雑音」

高域の雑音は分配雑音と呼ばれます。一般的に10 MHz以上で現れ、 6 dB/oct. で増大します。一般的なOPアンプでは、高域しゃ断周波数より高いところにある雑音なので、出力雑音への影響は小さいのですが、特定のOPアンプではまれに影響します。

低雑音増幅器には非反転型が有利

図15-3に示すのは、おなじみの反転増幅器と非反転増幅器です。 R_S は信号源の出力抵抗です。 R_1 と R_2 でゲインが決まり、いずれもゲインは100倍です。

反転増幅器の入力インピーダンスは、 R_1 にほぼ等しい値です。非反転増幅器の入力インピーダンスはとも大きな値です。

入力インピーダンスは、第13回(2006年3月号)で説明したバーチャル・ショートで考えるとわかりやすくなります。反転増幅器では+入力がグラウンド電位なので-入力もグラウンド電位になります。したがって入力インピーダンスは R_1 に等しくなります。

非反転増幅器では、+入力が入力信号と同電位、-入力もバーチャル・ショートでほぼ同電位です。電位差のないところに電流は流れませんから、とても大きな入力インピーダンスになります。厳密には、OPアンプの±入力端子とグラウンドとの間にもインピーダンスが存在しますが、一般に数MΩ以上のとても大きな値です。

入力信号は信号源抵抗と入力インピーダンスとで分圧されますから、増幅器の入力インピーダンスが低いと、入力される電圧は小さくなります。一方、OPアンプで発生する雑音の量は変わらないので、入力インピーダンスが低いと信号と雑音の比(S/N)は悪くなります。

反転増幅器の入力インピーダンスを上げようとして R_1 の値を大きくすると、 R_1 で発生する熱雑音が大きくなり、これまたS/Nが悪化します。