

トランジスタCooking!

〈第5回〉

OPアンプの基礎と負帰還のしくみ

柴田 肇
Hajime Shibata

トランジスタを使った回路のほとんどは増幅が主な目的です。OPアンプも複数のトランジスタを組み合わせて作られた増幅回路です。いろいろな用途に使える汎用性を極めたアナログICです。

後述のようにOPアンプは、必ず出力信号の一部を入力に戻すという負帰還を掛けて使います。こうすることによって、周波数特性が広帯域にフラットになったり、雑音が小さくなったりして、いろいろな特性が改善されるからです。負帰還の冥利を得るためには、OPアンプはとて大きなゲインをもっている必要があります。

今回は、負帰還を掛けたときのOPアンプのふるまいをできるだけわかりやすく説明し、OPアンプがなぜ大きなゲインを必要とするのか、その理由を明らかにします。OPアンプで考慮すべき特性はたくさんありますが、今回は直流的な特性だけに焦点を当てます。

OPアンプのあらまし

■ OPアンプの三つの性質

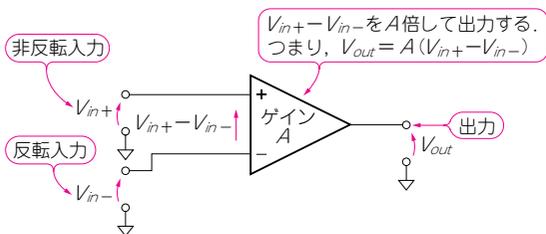
① 二つの入力の差分を増幅して出力する

OPアンプは、電圧入力、電圧出力型の増幅器で、図5-1に示す回路記号で表されます。

+と書かれた非反転入力端子と、-と書かれた反転入力端子の二つの電圧入力端子と、一つの電圧出力端子をもちます。

非反転入力端子と反転入力端子の電圧をそれぞれ

〈図5-1〉 OPアンプの記号と基本動作



V_{in+} と V_{in-} とすると、とても大きなゲイン A で入力電位差 ($V_{in+} - V_{in-}$) が増幅された電圧が出力端子に現れます。つまり出力電圧 V_{out} は、

$$V_{out} = A(V_{in+} - V_{in-}) \dots\dots\dots (5-1)$$

となります。

OPアンプ自体のゲイン A は、市販のOPアンプで 60 dB (10^3 倍) から 120 dB (10^6 倍) 程度です。300 dB (10^{15} 倍) というお化けOPアンプ⁽⁵⁾ もあるようです。

② 入力インピーダンスが高い

信号源にOPアンプを接続することによって、信号源の出力電圧、つまりOPアンプの入力電圧が小さくならないように、入力端子のインピーダンスはとて高くなっています。

OPアンプの入力端子のインピーダンスは、電圧計やテスタの入力端子と同じように、高いことが理想です。

③ 出力インピーダンスが低い

OPアンプの出力端子に負荷が繋がれても出力電圧が小さくならず、式(5-1)で算出されるとおりの理想的な電圧がしっかり出力されるように、接続される負荷と比べて出力インピーダンスはできるだけ低いのが理想的です。

この出力インピーダンスが低いという性質は実験用電源装置と似ていますね。

*

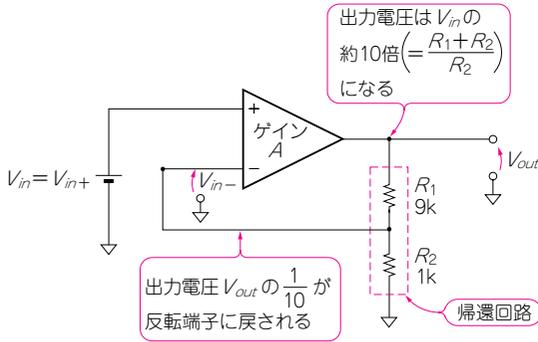
というわけで、OPアンプの基本性質をまとめると次のようになります。

- ① 入力の差電圧をとて大きく増幅して出力する
- ② 入力インピーダンスが高い
- ③ 出力インピーダンスが低い

■ 負帰還を掛けるとOPアンプは理想的な増幅器に近づく

OPアンプは、さまざまな場面でとて便利な万能増幅器として利用できます。ただしOPアンプ単体で

〈図5-2〉 OPアンプを使った非反転増幅回路



は、ゲインも適当に大きいだけですし、とても万能増幅器とは呼べません。周波数特性もフラットではなく、入力インピーダンスもそれほど高くはありません。出力インピーダンスも低くありません。

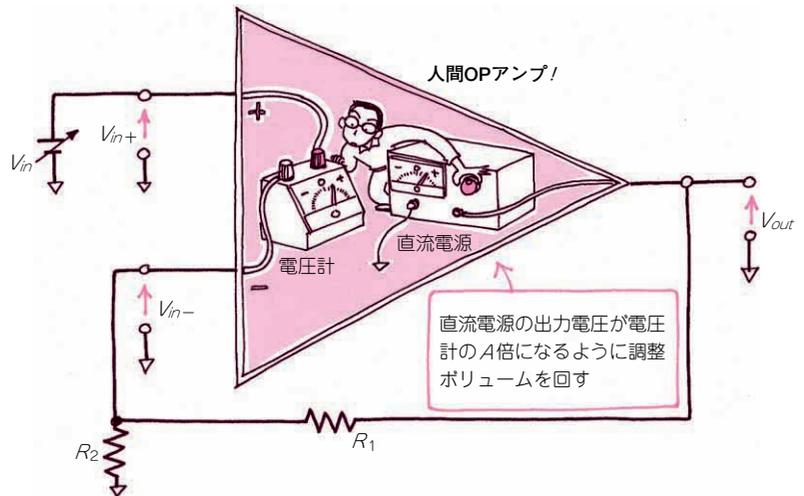
ところが、このOPアンプの出力信号をうまく反転入力端子に戻すと、いろいろな特性が改善されて、理想的な特性をもった増幅器に近づきます。

この出力信号を入力に戻す操作を負帰還と呼びます。負帰還の負は、入力信号から出力信号を引き算する関係になっているという意味です。帰還は戻すという意味です。

負帰還を掛けると、OPアンプ自体ではなく、OPアンプの周りに接続する帰還回路網で回路の特性が決まるようになります。この帰還回路網を工夫すれば、信号増幅だけでなく、さまざまな機能をもった回路を作ることができます。

OPアンプを利用した負帰還回路の特性や機能が、帰還回路網だけで単純に決まるかどうかは、OPアンプ自体が大きなゲインをもっているかどうかによります。

〈図5-3〉 負帰還のしくみを体験できる人間OPアンプ



OPアンプを知るための第1歩 …負帰還の働き

● 負帰還はわかりにくい

図5-2に示すのは、OPアンプを使った非反転増幅回路です。入力信号が反転されずに出力されるので非反転増幅回路と呼びます。

OPアンプの非反転入力端子には信号が入力されます。反転入力端子には抵抗 R_1 (9 k Ω) と R_2 (1 k Ω) からなる分圧回路が接続されているので、反転入力端子に出力信号 V_{out} の1/10が戻されます。戻された信号は、非反転入力端子に入力される信号から差し引かれます。

OPアンプはこの差分を増幅して出力します。そしてまた、出力の1/10が反転入力端子に戻されて…というように動作します。

ちょっと、理解しにくいですね。それでは、OPアンプになりきって、負帰還の動作の理解を深めましょう。

● 人間OPアンプで負帰還のしくみを理解する

図5-2の回路のように、負帰還を施した増幅回路の入力信号 V_{in+} に対する出力信号 V_{out} のゲインは、だいたい帰還率 $\beta = 1/10$ の逆数、つまり $1/\beta = 10$ になります。

このOPアンプの仕事が人がやった場合を考えてみましょう。図5-3を見てください。

入力部に負の電圧まで測定できる電圧計、そして調整つまみで出力電圧を負から正まで自由に換えられる実験用直流電源を準備します。人は、実験用直流電源の出力電圧が、電圧計の読み A 倍になるようにコントロールします。そんなに難しい操作ではありませんね。