

第5章

マイナス電源も使わないデジタルに対応

プラス電源だけでOPアンプを動かす

5.1

正負電源を使わずにOPアンプを動作させる 単電源動作のための基礎知識

本章では、OPアンプを単電源で使用する実験を行います。前章までは $\pm 1.5\text{V}$ の正負電源で使用する実験を紹介しましたが、この章では 3V の単電源で使ってみましょう。

実験に使ってきた2個のOPアンプ(新日本無線のNJM2732, NJU7043)は、どちらも主に単電源で使うことを前提として作

られています。現実の電子回路では、デジタル・システムでは 5V や 3V などの単電源が主に使われています。OPアンプなどのアナログ回路も、デジタル・システムに組み込まれて使われることが多くなり、手軽に単電源で使えるOPアンプ製品の人気が高いのです。

この章の実験を行うには、直

流電圧計(テスタ, DMM, 普通のオシロスコープなど)があればやりやすいと思います。パソコンのオーディオ出力を利用したソフトウェア・ジェネレータ, オーディオ入力を利用したソフトウェア・オシロスコープは、原理的に交流専用なので、正電圧に限定した実験をするには不向きです。

1

単電源化のコモンセンス

一般に「単電源用OPアンプ」と呼ばれるOPアンプは、別に単電源専用というわけではなく、正負電源でも単電源でも同じように使えます。また、単電源用でないOPアンプでも、ちょっと回路に手を加えれば単電源で動作させられます。ここでは、まず手軽な単電源動作の入門から実用的な使いこなしのマスターまでを説明します。

● OPアンプは単電源でも両電源でも本来の動作をする

正負電源と単電源は何が違うのかというと、実際には電源電圧の違いというよりも、信号電圧範囲の違いです。どんなOPアンプにも正電源($+V_{CC}$)と負電源($-V_{CC}$)の2本の電源ピン

があります。単電源用OPアンプもしかりです。

正負電源か単電源かは、OPアンプ側では区別できません。 $+V_{CC}$ と $-V_{CC}$ の電圧差が定格を満たしてさえいれば、ちゃんと動作します。例えば 3V 単動作のOPアンプなら、 3V 単電源($+V_{CC} = 3\text{V}/-V_{CC} = 0\text{V}$)でも、 $\pm 1.5\text{V}$ 電源($+V_{CC} = 1.5\text{V}/-V_{CC} = -1.5\text{V}$)でも、 -3V 単電源($+V_{CC} = 0\text{V}/-V_{CC} = -3\text{V}$)でも、OPアンプは動作します(図1)。

● プラス電源だけで動くOPアンプが増幅できるのは入力信号の正の部分だけ

正負電源と単電源の違いは、正負電源では電源電圧の中間に

グラウンド(GND)が位置するのに対して、単電源では電源電圧の端にGNDが位置することです。

そのため、正負電源の場合は正負の信号電圧を扱えるのに対して、単電源では信号電圧が正だけ(または負だけ)となります(図2)。

● プラス単電源増幅のコモンセンス

① GNDレベルぎりぎりの入力信号を増幅したいときは単電源専用OPアンプを使う

次節では、この方法について解説します。非反転増幅回路のように、入力が正なら出力も正、入力が負なら出力も負という回路なら、信号電圧が正だけ(または負だけ)の範囲で使えます。

第6章

微小で繊細な信号に力強さを加える

センサ出力や音声を増幅する

6.1

数mVの信号を100～1000倍増幅する
計測に使える増幅回路を作る

基本的なOPアンプ増幅回路として、反転増幅回路、非反転増幅回路、差動増幅回路を第1章で実験し、第2章で原理や使いかたを解説しました。

本章では、用途を限定してさらに特性や使いやすさを改善したOPアンプ増幅回路として、計測用途を中心とした直流増幅回路、オーディオ用途を中心とした交流増幅回路について実験しながら解説します。

● 計測回路に求められる機能

計測回路は、電気量を計測したり、センサを用いてさまざまな物理量を計測するための回路です。

センサは熱、光、磁気、力、変位などの物理量を電圧、電流、抵抗などの電気量に変換する機能をもちます。計測回路では、このような電気量を電圧信号に変換し、適当な電圧レベルに増幅したり、比較/検出などの処理を行います。

● 直流成分を高い精度で処理

信号源であるセンサの性質は千差万別で、出力が抵抗や電流で得られるもの、電圧出力でも信号源インピーダンスが高いもの、信号レベルが微小なもの、グラウンド(GND)から浮いた

ものがたくさんあります。

抵抗出力のものは $R-V$ (抵抗-電圧) **変換**、電流出力のものは $I-V$ (電流-電圧) **変換** してから増幅や演算などの処理を行います。

電圧出力のものはそのまま増幅できますが、信号源インピーダンスが高いものは高入力インピーダンス回路、信号レベルが微小なものは高精度増幅回路、GNDから浮いたものは差動回路で受ける必要があります。

センサのなかには交流信号で出力が得られるものもありますが、大部分のセンサでは直流成分を高精度に処理することが要求されます。そのために、高精度OPアンプを用いたり、オフセットやノイズを抑える技術も必要になります。

次節からは、一般的な反転増幅回路や非反転増幅回路を計測用途に用いる場合の注意点や、高入力インピーダンスの差動増幅器として計測用に多く用いられている **インストルメンテーション・アンプ** を紹介します。

● 無入力でも出力される直流が邪魔をする

OPアンプは手軽に使えて、

かつ多くの用途で十分な高精度が得られるのが特徴です。しかしOPアンプは、入力信号がゼロでも、微小な直流電圧(オフセット)やノイズを出力しています。したがって直流の微小電圧信号の増幅には注意が必要です。**図1**に-100倍の反転増幅回路の回路例と動作波形を示します。

一般的なセンサでも出力が数mV程度と微小なものは多く、100～1000倍に増幅することが必要です。しかし、一般的な汎用OPアンプは、やはり数mV程度の入力オフセット電圧を出力します。これでは、センサ出力を増幅しているのかオフセット誤差を増幅しているのかわからなくなってしまいます。

このような直流微小電圧増幅の用途には、高精度OPアンプを用いるか、**オフセット調整**によってオフセット誤差を抑えることが必要になります。

オフセット調整を行えば、オフセット誤差を1桁程度改善する効果が期待できます。また、入力オフセット電圧が原因の誤差と入力バイアス電流が原因の誤差を合わせて調整できます。

第7章

電流/抵抗/周波数と電圧を相互に変換

電圧以外の信号を扱う

7.1

電流信号の測定に使える 電流を電圧に変換する

電子回路では主として電圧を信号として使い、増幅や演算などの処理を行います。電流や抵抗、周波数など、電圧以外の信号を扱うために、それらの信号と電圧を相互に変換する回路が用いられています。

交流信号を直流信号に変換する整流回路のように、電圧信号どうしの変換を行う回路もあります。

電流と電圧の関係はオームの法則で決まり、基準抵抗を用いれば電流 I と電圧 V の相互変換 ($I-V$ 変換/ $V-I$ 変換)ができます。

基準抵抗 R_{ref} に入力電流 I_{in} を流せば、 I_{in} に比例した電圧降下 $\Delta V = I_{in}R_{ref}$ を生じます。その電圧降下を出力電圧 V_{out} として取り出せば $I-V$ 変換ができます。 $I-V$ 変換は電流測定など

の用途に用いられます。

● 高精度な $I-V$ 変換回路

代表的な高精度 $I-V$ 変換回路は、**図1** のように反転増幅回路から入力抵抗 R_1 を取り去り、直接電流 I_{in} を流し込むようにしたものです。 R_1 を取り去っても負帰還による**仮想接地**は働きます。 I_{in} はすべて帰還抵抗 R_{ref} を流れるので、

$$V_{out} = -I_{in}R_{ref} \dots\dots\dots (1)$$

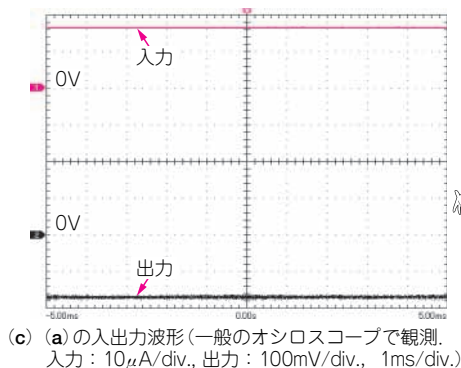
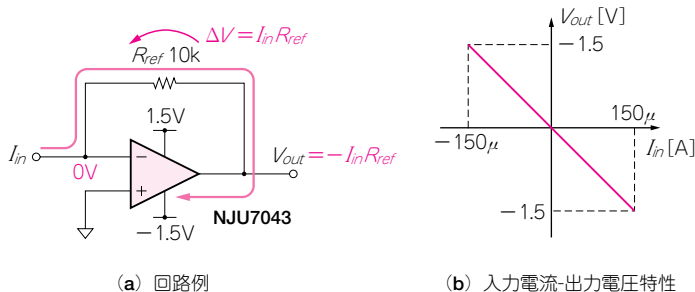
と、 I_{in} に比例した出力電圧 V_{out} が得られます。

図1 の回路例では、 $R_{ref} = 10\text{ k}\Omega$ を用いて、 $0 \sim 150\ \mu\text{A}$ の入力電流を $0 \sim -1.5\text{ V}$ の出力電圧に変換しています。入力電流を逆向き(流れ出し)にすれば、正の出力電圧が得られます。入力電流が双方向なら、正負の出力電圧になります。

この回路の利点は、電流の入力点が**仮想接地**になっていることです。信号源(電流源)から見た出力条件が常に一定のため、信号電流によけいな誤差を生じません。

例えば、**フォト・ダイオード** は受光量に応じた光電流が流れる光センサですが、この $I-V$ 変換回路を用いて、**図2** のよ

図1 高精度 $I-V$ 変換回路



(c) (a)の入出力波形(一般のオシロスコープで観測。入力: $10\ \mu\text{A}/\text{div.}$, 出力: $100\text{mV}/\text{div.}$, $1\text{ms}/\text{div.}$)

第8章

三角波を方形波に換えたり、波形のエッジを検出したり

OPアンプで加減算と微積分

8-1

複数の信号の加算と減算ができる 加減算を行う回路

● 加算項と減算項の数を任意に決められるタイプ

減算回路は第3章で紹介しました。ここでは、それとは別の実現方法を紹介します。

減算は、負数の加算と等価で

あることに注目すれば、**図1**のように反転増幅回路と反転加算回路を組み合わせることで実現できます。

さらに、**図2**のように反転増幅回路の入力を拡張して、2

個の反転加算回路の組み合わせにすれば、複数の加算と減算を行う**加減算回路**になります。

このとき、反転の反転は元に戻る(非反転)ことから、1段目の反転加算回路の入力 $V_2, V_{21}, V_{22} \dots$ は加算項となり、1段目を通さない2段目の反転加算回路の入力 $V_1, V_{11}, V_{12} \dots$ は減算項となります。すなわち、出力電圧は、

$$V_{out} = (V_2 + V_{21} + V_{22} + \dots) - (V_1 + V_{11} + V_{12} + \dots) \quad (1)$$

となります。加算項、減算項の個数はそれぞれ任意に増やせます

図1 反転と加算で構成した減算回路

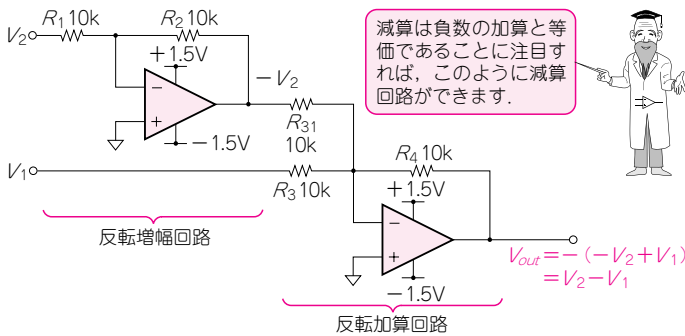
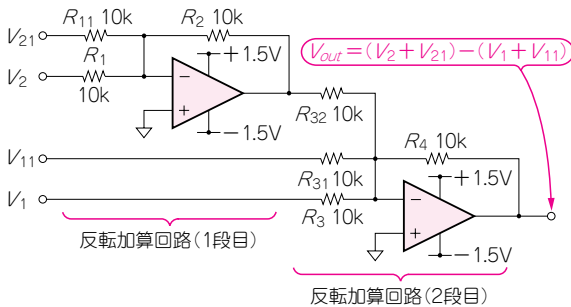
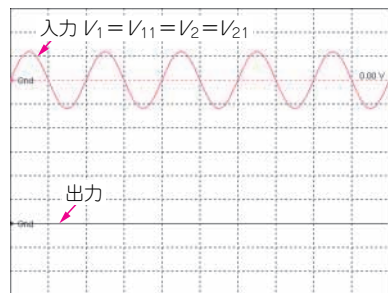


図2 OPアンプ2個の加減算回路



(a) 回路図



(b) (a)の入出力波形(200mV/div., 1ms/div.)

加算項、減算項は自由に増やすことができます。