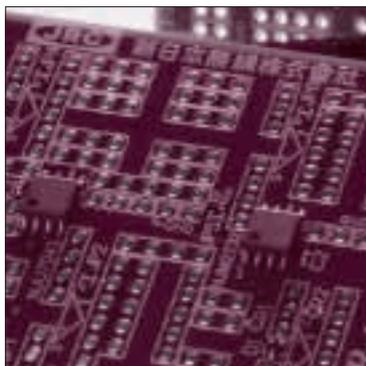


第3部 プロが使う電子回路を作る



第4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

宮崎 仁
Hitoshi Miyazaki

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章で原理や使い方を解説しました。

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。

計測に使える増幅回路を作る

● 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持ちます。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。

● 直流成分を精度良く処理

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、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(後述)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。

■ 数 mV の信号を 100 ~ 1000倍増幅するには

● 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。

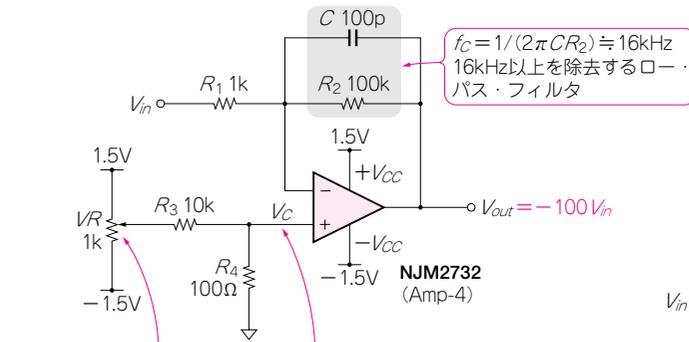
一般的なセンサでも出力が数mV程度と微小なものは多く、100~1000倍に増幅することが必要です。しかし、一般的な汎用OPアンプは、 $\pm 1\text{m} \sim 25\text{mV}$ 程度の入力オフセット電圧を出力します。これでは、センサ出力を増幅しているのかオフセット誤差を増幅しているのか分からなくなってしまいます。

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。ただし、オフセット調整直後にはオフセット誤差は無くなったように見えますが、温度ドリフトなどの変動要因によって再びオフセット誤差が現れてきます。

Keywords

直流増幅回路、計測回路、センサ、直流微小電圧増幅回路、インストルメンテーション・アンプ、交流増幅回路、交流微小電圧増幅回路



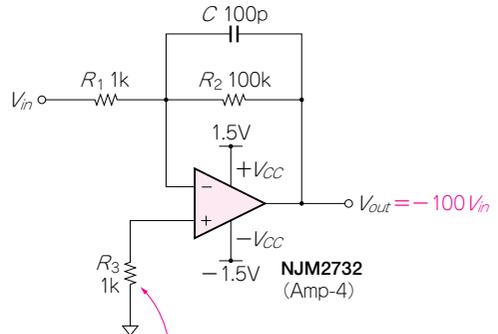
非反転入力にオフセット補償電圧 V_C を加える。
 V_R を 1.5V 側に回しければ、 $V_C = 1.5V \times R_4 / (R_3 + R_4) \approx 15mV$
 V_R を -1.5V 側に回しければ、 $V_C = -1.5V \times R_4 / (R_3 + R_4) \approx -15mV$
 したがって、約 $\pm 15mV$ の範囲でオフセット補償できる。
NJM2732 の入力オフセット電圧は $\pm 5mV$ (max.) なので補償可能
NJU7043 の入力オフセット電圧は $\pm 10mV$ (max.) なので補償可能
 この回路は必ず V_R を調整して使う (無調整だと余計な電圧が加わる)

調整方法

V_{in} を GND に接続したとき、 $V_{out} = 0V$ になるように V_R を調整する。
 入力バイアス電流による誤差も補償されるので、補償用抵抗は不要

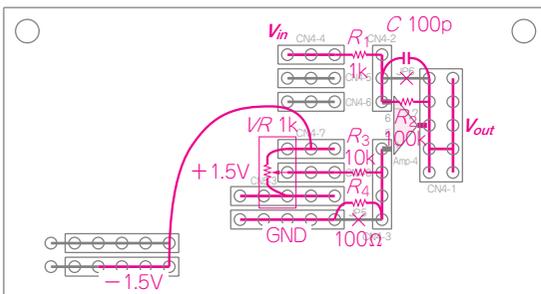
(a) 回路図

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。

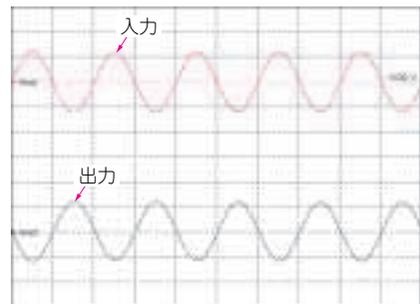


V_{in-} 側の等価抵抗は $R_1 // R_2$ (R_1 と R_2 の並列)
 $R_1 \ll R_2$ のときは、 $R_1 // R_2 \approx R_1$
 V_{in+} 側に、それと同じ値の抵抗 R_3 を入れる

(b) 入力バイアス電流の補償



(c) 実体配線図 (電源などの接続は省略)



(d) (a) の入出力波形
 (上: 10mV/div., 下: 1V/div., 1ms/div.)

図1 無入力なのにでてしまう直流電圧(オフセット)を減らす方法(PSpice データ・ファイル: ¥fig5-1)

● オフセットを減らして狙った信号だけを大きく増幅する方法

8ピン・パッケージで1個入りのOPアンプは専用のオフセット調整ピンを持ち、メーカーが指定する方法でオフセット調整を行いますが付録基板上に搭載した NJM2732 や NJU7043 のようにオフセット調整ピンの無いOPアンプの場合は、図1の方法でオフセットを減らします。

入力バイアス電流による誤差を抑えるには、バイアス電流補償用抵抗が効果を持ちます。反転増幅回路や非反転増幅回路では、反転入力ピンには抵抗 R_1 、 R_2 が接続されているので、非反転入力側に補償用抵抗 $R_3 = R_1 // R_2$ を挿入します。ただし、NJU7043 などの

FET入力OPアンプはもともと入力バイアス電流が小さいので、一般に補償用抵抗は不要です。

● OPアンプから出ているノイズへの対応

微小電圧増幅回路では、入力信号に含まれるノイズやOPアンプ自身が持つノイズも大きく増幅されてしまいます。ノイズなどの不要成分は高周波のものが多いため、増幅回路の前後にローパス・フィルタを入れたり、図1のように抵抗 R_2 に並列にコンデンサ C を入れて増幅回路自体にローパス・フィルタの効果を持たせます。

OPアンプの選択は、バイポーラ入力の NJM2732 のほうが入力オフセット電圧や入力換算電圧ノイズが小