

[世界の基本II] OPアンプ&アナログ回路設計

世界共通の基本5

ゲイン設定用抵抗2本の値は数百~数十kΩがちょうどいい

本稿では、代表的な非反転アンプを例に、抵抗やコンデンサの選択や適切な定数の決め方を解説します。
(編集部)

① 抵抗値が大きすぎると何が問題？

● ゲイン10倍のアンプを作ると言われた

汎用OPアンプを使った電圧ゲイン10倍(20 dB)の増幅回路を考えてみます。

回路の仕様としては入力電圧が±1Vのとき、出力電圧が±10Vになるようにします。電圧振幅が大きいですから、OPアンプもオフセット電圧が小さい精密アンプを使う必要もないので、ここではOPアンプに汎用のNJM4558(新日本無線)を使うことにします。

● 抵抗比が10倍になる90MΩと10MΩをつないでOK!?

この回路の電圧ゲイン G_V は図1に示すように、次式で計算できます。

$$G_V = 1 + R_1/R_2$$

$G_V = 10$ なら $R_1/R_2 = 9$ です。抵抗の比が9なら良いということで、図1に示すように $R_1 = 90\text{M}\Omega$ 、 $R_2 = 10\text{M}\Omega$ にしてみましょう。ずいぶん大きな抵抗値ですから、良くないことが起きそうな感じがしますね。

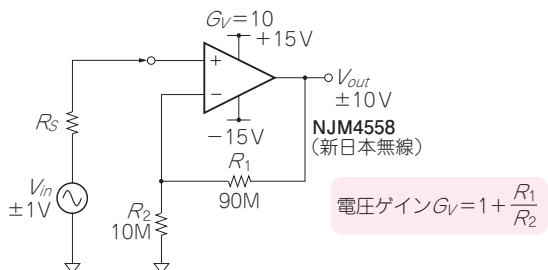
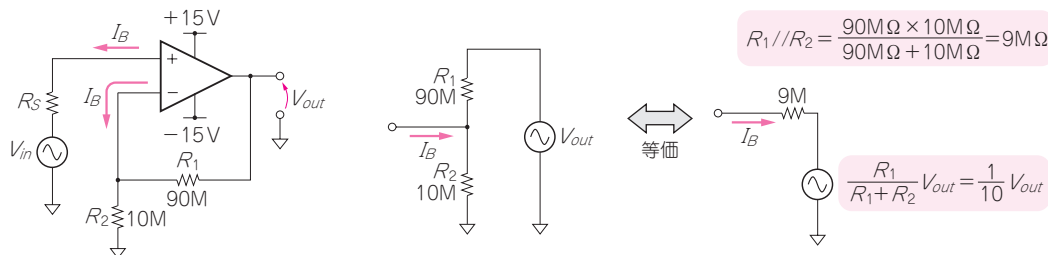


図1 電圧ゲイン10倍の非反転アンプのフィードバック抵抗(R_1 と R_2)はいくつぐらいが丁度いい?



(a) OPアンプの入力からバイアス電流 I_B が流れる (b) OPアンプの反転入力端子から見た等価回路 (c) テブナンの定理で等価回路を計算

図2 OPアンプの反転入力端子(-端子)から見たインピーダンスは R_1 と R_2 の並列抵抗である

【セミナー案内】 実習・できる! 1cmピンポイントGPS RTK超入門 [トラ技RTKスタータキット持ち帰り] —— (初心者向け) ラズベリー・パイにRTKLIBを実装する
【講師】 吉田 紹一 氏 4/5(金) 49,000円(税込み)
【会場】 東京・巣鴨 CQ出版社セミナー・ルーム [5F会場] <https://seminar.cqpub.co.jp/>

● 問題発生① 無信号なのに4.5Vも直流が出る

NJM4558のデータシートを見ると、入力バイアス電流という項目があります。

入力バイアス電流とはOPアンプの入力に流れる電流です。図2(a)に示すように、NJM4558は入力段がPNPトランジスタなので、OPアンプから外部に流れ出す方向になります。

データシートによると、入力バイアス電流の標準値は25 nA、最大値は500 nAです。OPアンプの入力から外の回路を見たときの抵抗は、非反転入力側は入力信号 V_{in} の内部抵抗 R_S です。

反転入力の方は図2(b)のようになっています。OPアンプの出力は、内部抵抗がほぼ0Ωの電圧源と見なせるので、OPアンプの入力端子から見た抵抗はテブナンの定理でフィードバック回路の抵抗 R_1 と R_2 の並列抵抗と等価です。等価抵抗を計算すると、9MΩです [図2(c)]。

信号源抵抗 R_S の大きさは不明ですが、NJM4558の精度に影響を与えない程度と仮定しましょう。

さて、フィードバック回路の9MΩですが、ここに入力バイアス電流の500 nAが流れて、4.5V(9MΩ×500 nA)もの大きなオフセット電圧が発生します。標準値の25 nAとしても225 mVで、信号電圧の±1Vと比べて無視できない大きさです。つまり、この回路はまともには動作しません。

▶ バイアス電流の小さいOPアンプを使っても高電圧がやっぱり問題が発生

バイアス電流の影響でオフセット電圧が発生しているので、バイアス電流が小さいCMOS OPアンプやJFET入力のOPアンプを使えばいいのでは、と思いますね。

CMOS OPアンプのTLC272(テキサス・インスツルメンツ)を使うと、25℃での入力バイアス電流は最大60 pAなので、9MΩで発生するオフセット電圧は540 μVです。これなら許容範囲内ですが、CMOS OPアンプは温度が高くなるとバイアス電流が増えます。産業用機器で85℃まで許容するとバイアス電流は2 nAになってしまい、9MΩで発生するオフセット