

SPICE

実用電子回路講座



第7回 反転入力端子部の容量による不安定動作対策

遠坂 俊昭
Toshiaki Enzaka

実際のOPアンプICを使って増幅回路を作ると、OPアンプ自体の特性や実装状態など、たくさんの要因が安定な動作の障害になります。

今回は、それらの要因の一つであるOPアンプの反転入力端子部の容量ぶんが安定動作に与える悪影響をシミュレーションで調べ、その対策の方法を検討します。

反転増幅回路とノイズ・ゲイン

非反転増幅回路の場合、入出力ゲインは帰還回路の分圧比 β の逆数($1/\beta$)でほぼ決まります。しかし反転増幅回路の場合は、 β 回路を構成している抵抗の一部に信号を加えるため、非反転増幅回路と同じように扱うことができず、その入出力ゲインは $1/\beta$ とは少し異なった値になります。

反転増幅回路では、入出力ゲインとこれから説明するノイズ・ゲインの二つを検討することになります。

● 反転増幅回路のしゃ断周波数はGBWと入出力ゲインからは求まらない

図7-1に示すのは、非反転増幅回路と反転増幅回路の入出力ゲインの周波数特性を調べるシミュレーションです。

非反転増幅回路の場合、入出力ゲインは $1/\beta$ です。図7-1の場合は2倍です。ところが反転増幅回路の場合は、ゲイン特性が $1/\beta$ にならず、-1倍になります。

連載第2回(2005年4月号)で説明したように、非反転増幅回路の高域しゃ断周波数を f_c [Hz]、GBWを f_{GBW} [Hz]、入出力ゲインを G [倍] とすると、次式が成り立ちます。

$$f_c = \frac{f_{GBW}}{G}$$

ただし、OPアンプの裸ゲインの減衰傾度が-6 dB/oct.に保たれている範囲において

図7-1(a)に示すOPアンプ・モデルのGBW(Gain

Band Width)は10 MHzなので、非反転増幅回路の高域しゃ断周波数は5 MHzになります。図7-1(b)に、ゲインの周波数特性を解析した結果を示します。確かに非反転増幅回路の入出力ゲインは2倍で、しゃ断周波数は5 MHzです。

図7-1(a)には反転増幅回路も示されています。これら二つの増幅回路は、信号源のインピーダンスが 0Ω で、出力電圧が $0V$ と考えるとまったく同じ回路です。違うのは信号を加えている箇所だけです。高域しゃ断周波数は、どちらの増幅回路も同じはず。ただし入出力ゲインは異なり、反転増幅回路は-1倍、非反転増幅回路は2倍です。図7-1(b)からも、確かに両者のしゃ断周波数はほぼ同じであることがわかります。

このことから、反転増幅回路の高域しゃ断周波数は、GBWを入出力ゲイン(-1倍)で割っても求まらないことがわかります。いったん非反転増幅回路のゲインに換算しなければならないのです。

具体的に計算すればすぐわかりますが、通常の反転増幅器ではゲインが10倍程度以上に大きくなれば、高域しゃ断周波数はGBWをゲインで割った値にほぼ等しくなります。

● 入出力ゲインそのままのしゃ断周波数が低下する!?

図7-2(a)に示すのは、IN₋端子とグラウンド間に抵抗 R_3 を挿入したゲイン-10倍の反転増幅回路と、抵抗 R_3 のない通常の反転増幅回路です。

図7-2では、 R_{1a} と R_{1b} を10k Ω と1f Ω に切り替えるながら解析(パラメトリック解析)することにより、負帰還後の特性と裸特性を同時に求めています。

OPアンプのIN₋端子は、IN₊端子とほぼ同電位、つまり $0V$ ですから、抵抗を追加しても入出力ゲインは-10倍で変わりません。抵抗を追加した回路は、信号源を $0V$ に固定すると、ゲイン100倍の非反転増幅回路(図7-3)と同じになります。

図7-2(a)の上側のしゃ断周波数 f_c は次のとおりです。

$$f_c = \frac{10}{(100\text{ k} + R_{1a} // R_{3a}) / (R_{1a} // R_{3a})}$$

$$= 100\text{ kHz}$$

図7-2(b)の下側のしゃ断周波数は次のとおりです。

$$f_c = \frac{10}{(100\text{ k} + R_{1b}) / R_{1b}}$$

$$\approx 909\text{ kHz}$$

しゃ断周波数は、抵抗 R_3 がいない場合が909 kHz なのに対して、抵抗がある場合は100 kHz になります。図7-2(b)に示すのは、これらのゲイン関係を解析し

た結果です。

以上から反転増幅回路の場合、ゲイン G_{inv} の周波数特性は次式で求めることができます。

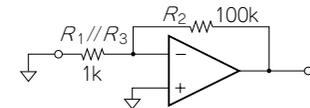
$$G_{inv} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{A_o \beta}} \dots\dots\dots (7-1)$$

● 入出力ゲインの周波数特性を知りたいときはノイズ・ゲインを考える

図7-3に示すように、

$$\frac{R_1 // R_3 + R_2}{R_1 // R_3}$$

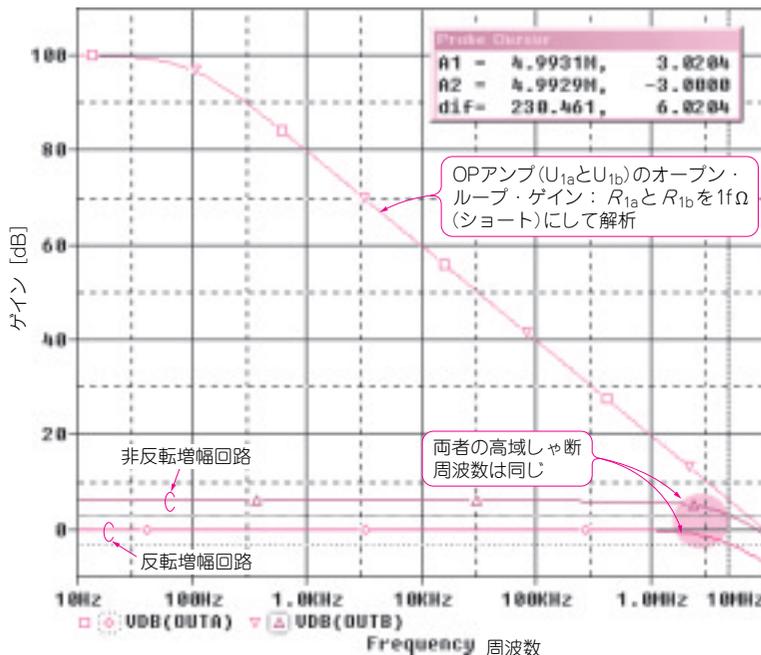
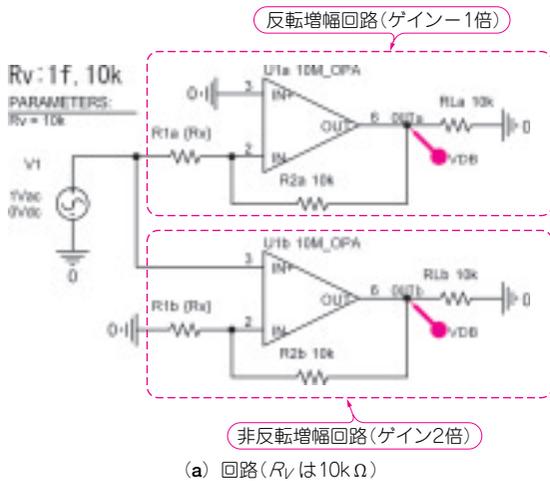
で決まる値を「ノイズ・ゲイン」といいます。これは、OPアンプの出力から、OPアンプの入力端子に接続される負帰還ネットワークで分割された値の逆数です。つまり β の逆数です。



ノイズ・ゲイン G_{noise} は次式のとおり。

$$G_{noise} = \frac{R_1 // R_3 + R_2}{R_1 // R_3}$$

図7-3 図7-2の抵抗を追加した反転増幅回路のノイズ・ゲイン



(b) 非反転型の入出力ゲインは反転型の2倍だがしゃ断周波数は等しい

図7-1 しゃ断周波数は同じだが入出力ゲインが異なる二つの増幅回路

