

SPICE

実用電子回路講座



第9回 容量負荷によるゲイン・ピークの理由と対策

遠坂 俊昭
Toshiaki Enzaka

前回は、OPアンプの負荷に容量が接続されるとゲイン特性にピークが生じる理由と、抵抗挿入による簡単な容量負荷対策を紹介しました。抵抗を挿入する方法は簡単ですが、出力インピーダンスが増加するので、負荷の大きさによって出力電圧が変動し、ゲイン誤差が発生することを説明しました。

今回は、できるだけ出力インピーダンスを増加させない容量負荷対策と、発振しやすいゲイン1倍のバッファ回路の容量負荷対策を紹介します。

ここで説明する方法は、1 MHz程度以下の低周波帯域における対策です。それ以上の高周波では、増幅回路の出力インピーダンスを同軸ケーブルなどのインピーダンスにマッチングさせる必要があります。

出力インピーダンスを低く保つ方法

● 対策の施しかた

図9-1(a)に示すのは、LF411を使用したゲイン2

倍の反転増幅回路です。OUTから見た出力インピーダンス(Z_{out})を低く保ちながら、容量負荷によるゲイン・ピークの発生が抑えられています。負荷容量は1000 pF(1 nF)です。

帰還抵抗 R_2 は負荷端に接続し、負荷端の電圧を検出しています。 C_C は、容量負荷によって遅れた位相を進ませるコンデンサです。 R_C は、容量負荷の影響を低減するための抵抗で、その値はOPアンプ自体の高域の出力インピーダンス R_{out} と同程度にします。

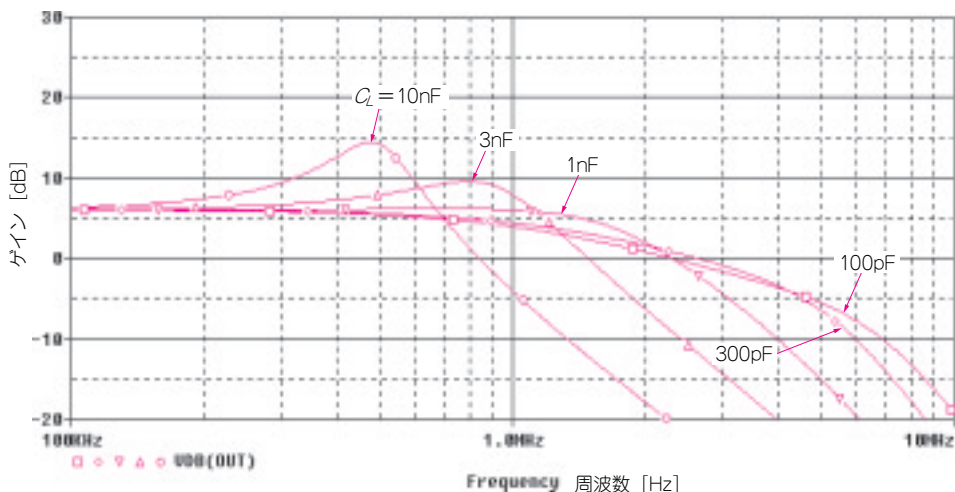
C_C の値は、

$$R_2 C_C \approx (R_{out} + R_C) C_L \dots\dots\dots (9-1)$$

になるように決めます。

● 対策効果を確認

図9-1(b)に示すのは、 C_C を変えながら入出力ゲインの周波数特性を解析した結果です。式(9-1)から、 C_C は次のように求められます。



容量負荷1nFでのピークは平坦になり、3nF、10nFでのピーク値も減少している

図9-2 図9-1(a)において C_C を5 pFに固定し C_L を変化させながらゲインの周波数特性を解析

$$C_C = \frac{(R_{out} + R_C) C_L}{R_2}$$

$$= \frac{(50 + 47) \times 1000 \times 10^{-12}}{20 \times 10^3}$$

$$\approx 4.9 \text{ pF}$$

図9-1(b)を見ると、確かに $C_C = 5 \text{ pF}$ のとき周波数特性が平坦になっています。

● 本対策の検証

この対策が有効な理由をゲインの漸近線を描きながら確認しておきましょう。

図9-1(c)に示すのは、図9-1(a)の対策回路のOPアンプ自体のオープン・ループ・ゲイン A_O と帰還回路のゲイン $1/\beta$ の周波数特性を漸近線で表したものです。

裸ゲイン A_O は、容量負荷の影響で、周波数 f_{CL} を境に傾きが -12 dB/oct. になり、 -180° に向かって位相が遅れていきます。

ここで、帰還回路が抵抗だけで構成されており(つまり対策前の回路)、帰還回路のゲイン $1/\beta$ の周波数特性が変化しない回路になっていると、 A_O と $1/\beta$ の差分である $A_O\beta$ が、 $|A_O\beta| = 1$ になる周波数におい

て、 -12 dB/oct. のカーブになり、不安定な負帰還動作になります。

しかし C_C を追加すると、帰還回路の $1/\beta$ の周波数特性が周波数 f_{CL} から -6 dB/oct. で減衰するようになり、 $A_O\beta$ が f_{CL} より高域でも -6 dB/oct. で減衰します。その結果、 $|A_O\beta| = 1$ になる周波数においても -6 dB/oct. のカーブとなります。これは、安定な負帰還動作のための条件です。

● 位相補償容量を 5 pF に固定して負荷容量を可変する
図9-2(p.212)に示すのは、 C_C を 5 pF に固定し、

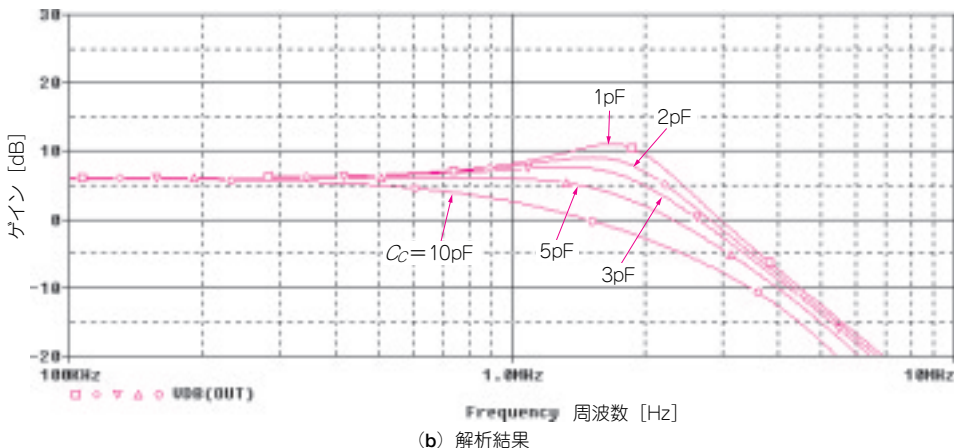
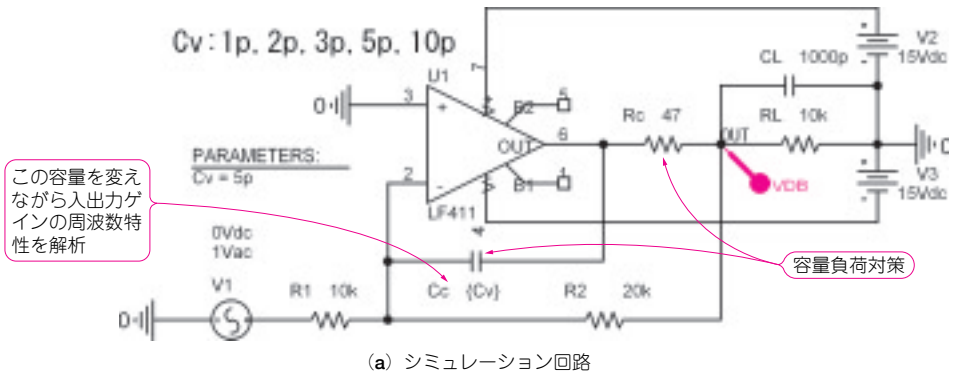
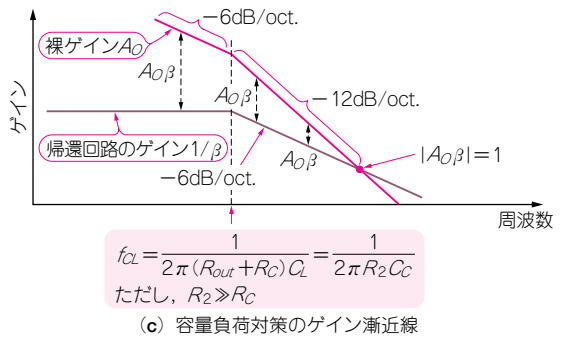


図9-1 出力インピーダンスを低く保てる負荷容量対策
負荷容量を固定し位相補償容量を変えながらゲインの周波数特性を解析