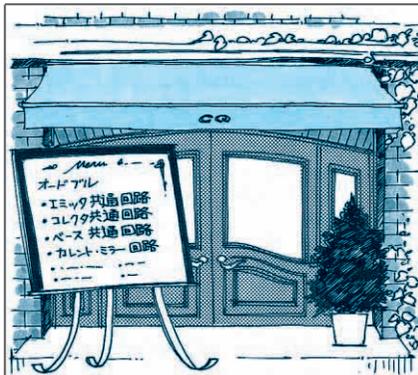


トランジスタCooking!

〈第8回〉

発振のメカニズムと防止策～その②

柴田 肇
Hajime Shibata



OPアンプ応用回路の性能は、OPアンプ自体の増幅率と大きな関係があります。一般にOPアンプは、大きな増幅率を得るために、複数の増幅段を従属接続して構成されています。しかし、帰還ループ内部の増幅段数が多くなると、安定性の問題が出てきます。

前回(2004年4月号)は、多段増幅型のOPアンプになりきってみました。多段増幅回路に負帰還をかけた場合、不安定になる可能性があることを直感的に理解できたのではないかと思います。帰還ループが不安定で発振してしまうと、ハンドマイクハウリングと同じように、入力にはなかった信号が出力されてしまいます。

発振していなくても、位相余裕が小さく発振しかかっている場合は、温度変化や電源変動などがトリガとなって、発振してしまう可能性があります。そのため、ループを安定化することはとても重要です。

このループを安定化する操作、つまり位相補償の一番簡単なものは、ゲイン1以上のループの特性を十分支配できるほど遅い極(ロー・パス特性)を導入するこ

とでした。

今回は位相補償の実践編として、OPアンプ回路での位相補償を行います。題材とするOPアンプは連載第6回(2004年3月号)で取りあげた古典的な2段増幅型のOPアンプです。このOPアンプの周波数特性を調べた後、簡単な位相補償を試します。具体的には狭帯域化法とミラー補償法に挑戦してみます。

安定の度合いはループ・ゲインの周波数特性からわかる

● 帰還率と安定性の関係

位相補償を始める前に、安定性の面から、OPアンプのゲインにどのような周波数特性が望まれるのかを考えてみましょう。

OPアンプが仮に図8-1に示すような二つの極 p_1 と p_2 からなる周波数特性 $A(j\omega)$ をもっているとします。このOPアンプと帰還率 $\beta = 1/100$ の帰還回路を使って、図8-2のように設定増幅率100倍の負帰還増幅回路を作ります。

このときループ・ゲイン $A(j\omega)\beta$ は、OPアンプ単体の周波数特性 $A(j\omega)$ よりも $\beta = 1/100$ 倍に低下するので、全体に下側にシフトした図8-1の青い線の特性になります。位相余裕を調べてみても、ボード線図から約 90° の位相余裕があるので安定性の問題は生じません。

ところが、同じOPアンプを使って $\beta = 1$ の帰還回路を作った場合、ループ・ゲインは図8-1の黒い線の特性となります。位相は 180° 付近に達しているため、位相余裕が小さく、ループは不安定になります。

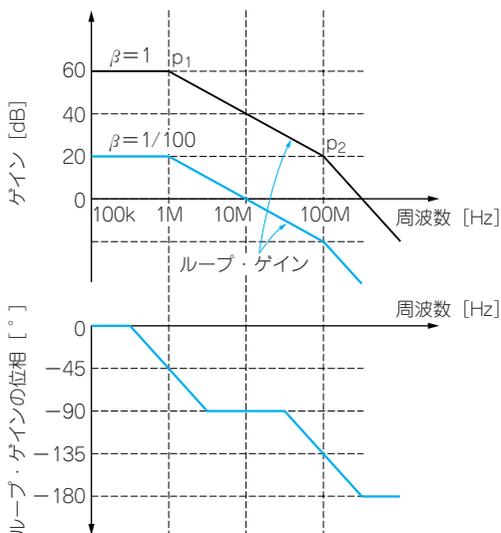


図8-1 汎用OPアンプのゲインと位相の周波数特性例

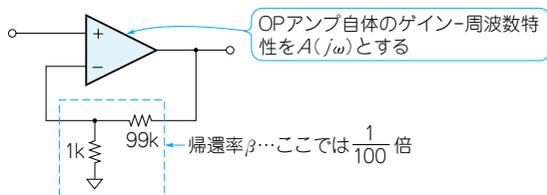


図8-2 設定増幅率100倍の負帰還増幅回路

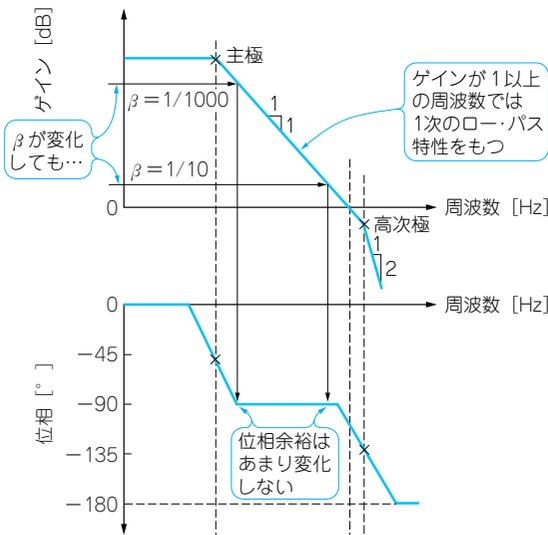


図8-3 安定状態にあるOPアンプの周波数特性
ゲインが1以上の周波数で1次のロー・パス特性をもつ

● 安定動作の条件

▶ ループ・ゲイン $A(j\omega)\beta$ が $A(j\omega)\beta = 1$ になる周波数より低域で1次のロー・パス特性を示すこと

このように安定性は帰還率を決定する帰還回路によって大きく左右されます。通常、OPアンプ帰還回路の定数は限定されていないので、100%の負帰還 ($\beta = 1$) をかけた場合にも十分な位相余裕をもち、安定となるように設計します。

具体的には、図8-3に示すようにループ・ゲインが1以上の周波数で1次のロー・パス特性をもつよう設計します。言い換えれば、ループ・ゲインが1以上の周波数特性が一つのロー・パス特性で支配されるように設計します。

このように設計することで、帰還率 β が変化した場

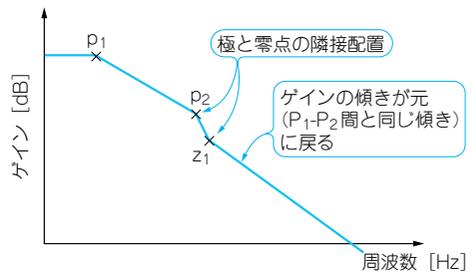


図8-4 零点による極の打ち消し

合でも位相余裕が大きく変化せずに安定になります。

なお、このようなロー・パス特性は、伝達関数の分母多項式によって作られます。周波数特性が変化する点をポールまたは極と言ひ、低い周波数の極から順に1次極、2次極、3次極と呼びます。1次極を主極、2次以降の極を高次極と呼ぶこともあります。

ロー・パス特性とは逆のハイ・パス特性は、伝達関数の分子多項式によって作られるため、ゼロまたは零点と言ひます。こちらはなぜか、主零などとは呼びません。詳しくは文献(5)を参照してください。

● 必要以上に安定なときは周波数特性が犠牲になっている

帰還率 β が1でも安定となるように設計されたOPアンプを使って増幅率が100倍 ($\beta = 0.01$) など高ゲインの増幅器を作りたい場合、必要以上に安定になってしまう場合もあります。

しかし、必要以上の安定性を確保しているときは、一般に周波数特性が犠牲になっています。このため、あえて図8-1の黒い線のような周波数特性をもたせて、帰還率が低い場合にだけ、安定となるように設計されたOPアンプ(OP-37など)も販売されています。

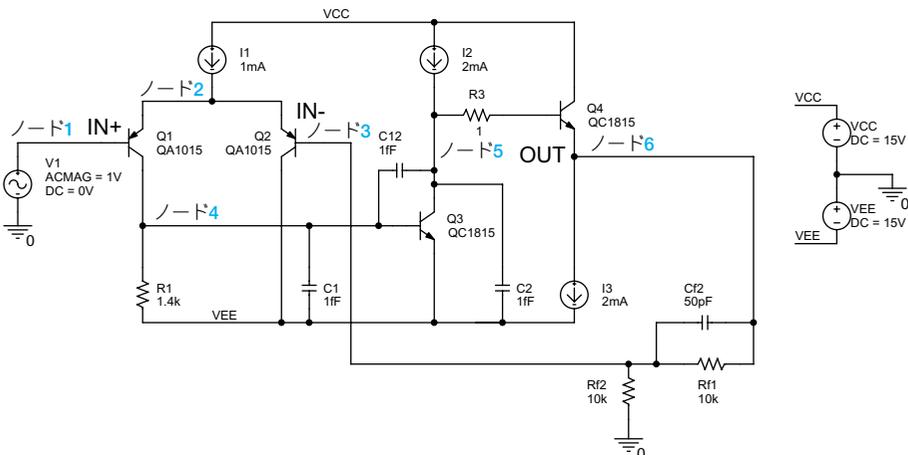


図8-5 2段増幅型の古典的な構成のOPアンプ

