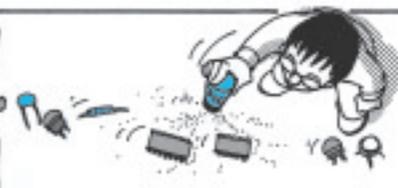


SPICE

実用電子回路講座



第10回 パラスティック発振のメカニズムと対策

遠坂 俊昭
Toshiaki Enzaka

今回はエミッタ・フォロワなどのディスクリート回路でしばしば遭遇する、容量負荷による発振(パラスティック発振)のメカニズムと、その発振対策について説明します。

● パラスティック発振とは

連載第5回(2005年7月号)から第9回(2005年11月号)にかけて扱った異常発振は、複数の増幅素子と抵抗、そして浮遊容量によるループ回路で発生するものでした。これは、OPアンプ内部の複数の増幅素子と β 回路、そして負荷によるトータルのループ・ゲイン(オーバーオール負帰還とも呼ぶ) $A_0\beta$ が-1になるときに発生しました。

これに対してパラスティック発振は、1個の増幅素子(トランジスタやFET)と浮遊インダクタンス、浮遊容量の3種がループ(マイナ・ループとも呼ぶ)を形成し、LC発振回路になることが原因です。使用する増幅素子の周波数特性にもよりますが、パラスティック発振による異常発振周波数は、一般的に十数MHz以上の高周波になります。

● 発振のようす

写真10-1がパラスティック発振波形です。実はこの波形は、道楽で製作したオーディオ用パワー・アンプのもので、パラスティック発振の原因は、回路よりも実装状態によることが多いため、ここにその煩雑なパワー・アンプ回路は示しません。

図10-1に示すシンプルな増幅回路は、 GBW 10 MHzのOPアンプにバッファ回路(ゲイン約1倍)を接続し、負帰還で2倍のゲインに設定しています。 $|A_0\beta| = 1$ になるのは、高くても GBW の半分の5 MHz付近のはずで、バッファ回路や容量負荷などの影響があると $|A_0\beta| = 1$ はさらに低い周波数に移動します。

したがって図10-1の回路の出力に異常発振波形が観測され、その発振周波数が10 MHz以上の場合には、バッファ回路に用いたトランジスタのパラスティック発振と推定できます。また、5 MHz以下なら不適切な負帰還ループによる異常発振と推定することができます。

写真10-1に示すパラスティック発振は、0 V付近の一部で発生しており、1 kHzの信号に約16 MHzの

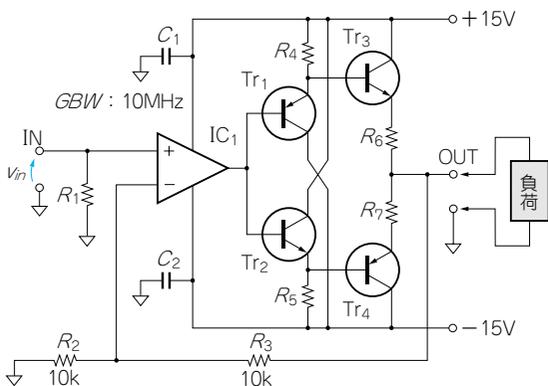


図10-1 電流ブースタを付加したOPアンプ増幅回路

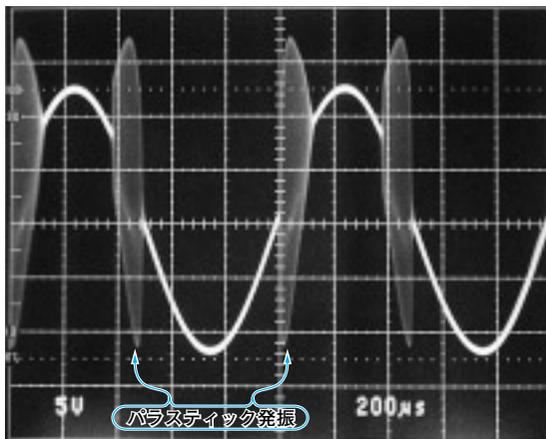


写真10-1 パラスティック発振波形(5 V/div., 200 μ s/div.)

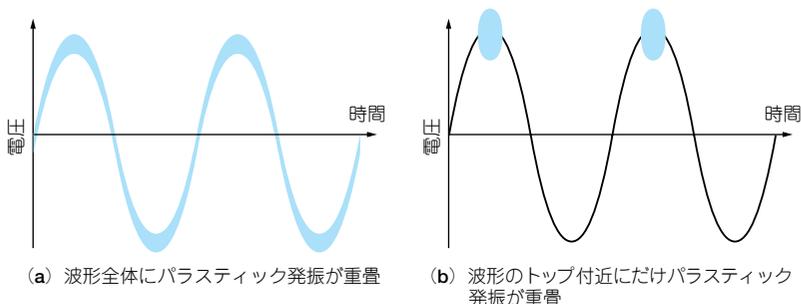


図10-2 パラスティック発振の現れかた

発振周波数が重畳しています。回路の条件によってパラスティック発振の発生ようすはさまざまで、図10-2に示すように、信号波形のピーク付近だけで生じたり、信号波形全体に重畳したりすることもあります。

発振のメカニズム

● 発振がスタートする条件

増幅器が発振するのは狙いどおりの動作ですが、増幅器の発振は困ったトラブルの種です。増幅器の発振を止めるためには、まず、発振の原理を理解することが大切です。

増幅器の発振のメカニズムは、発振器と同じです。

発振器を大別すると、調和発振器 (harmonic oscillator, 帰還発振器とも言う)、弛張発振器 (relaxation oscillator)、そして最近よく使われるようになったDDS (Direct Digital Synthesizer) に代表されるデジタル発振器の3種類です。弛張発振器とは、マルチバイブレータやファンクション・ジェネレータに代表されるコンデンサの充放電を利用した発振器です。

今回説明するパラスティック発振のメカニズムは、調和発振器の動作を理解すればわかります。負帰還増幅器と調和発振器をブロック図で表すと、図10-3のようになります。

発振の原理は、第5回で説明した次の負帰還のゲイン式、

$$V_{out} = \frac{A_O}{1 + A_O \beta} V_{in}$$

の分母 $(1 + A_O \beta)$ がゼロになる、つまり $A_O \beta = -1$ になることです。ただし、発振器の場合は正帰還として考えるので、 $A_O \beta = 1$ と表現されます。

1点の周波数でゲインが無限大になる帰還回路では、入力がなくても内部雑音や外部からのショックで、この周波数で出力振幅が増大していき発振に至ります。

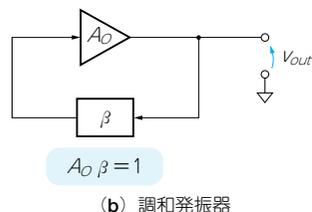
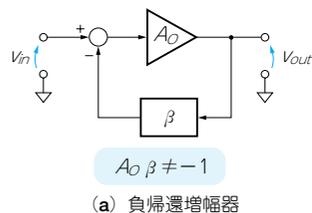


図10-3 負帰還増幅器と調和発振器のブロック図

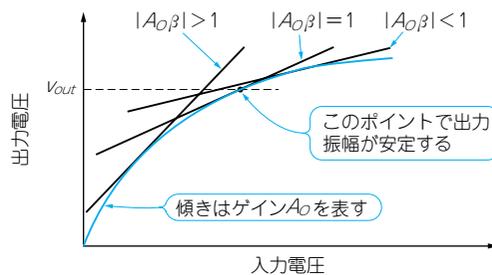


図10-4 発振回路の出力振幅は $|A_O \beta| = 1$ のところで安定する

● 発振の振幅が安定するしくみ

一巡のループを構成する回路において、1点の周波数でループ・ゲインが1倍、位相がちょうど 0° になると発振現象が起こって続きます。

図10-4に示すように、増幅器のゲイン A_O は出力振幅に対して非線形に変化します。出力の振幅は必ず有限の値でクリップし、ゲイン A_O が減少します。ある出力電圧 (v_{out}) より振幅が小さいと $|A_O \beta| > 1$ で振幅は増大し、 v_{out} より振幅が大きいと $|A_O \beta| < 1$ になり振幅は減少します。最終的に、 $|A_O \beta| = 1$ になる出力 (v_{out}) で発振波形の振幅が安定します。

エミッタ・フォロワの発振の原理

● エミッタ・フォロワは発振回路になりやすい

図10-5(A)に示すのは、プリント・パターンや線材による浮遊インダクタンス L_S を考慮したエミッタ・フォロワ回路です。 C_L は容量負荷、 C_{BE} は Tr_1 のベース-エミッタ間容量です。

交流動作だけを考えてかまわないので、インピーダンスが 0Ω の電源 (V_{CC}) と電圧信号源をグラウンドに