



20 正弦波発振回路 その②～LC型と機械振動子型～

馬場 清太郎
Seitaro Baba

はじめに

今回は、**LC型**と**機械振動子型**の正弦波発振回路の設計法を紹介しましょう。

現在、最も頻繁に使われている発振回路は機械振動子型です。特に水晶発振子は、現在の電子通信産業の発展に対して貢献した部品のなかで、真空管やトランジスタ、半導体ICなどの能動素子に次ぐものといわれています⁽¹⁾。

今回紹介するLC型と機械振動子型の動作原理は、今までに説明した負帰還増幅回路の発振条件と同じです。CR型と異なり、どちらも高周波で利用されることが多く、OPアンプICを使うことはほとんどありません。ここでは、入手容易なインバータICを使用した回路を紹介します。

LC型

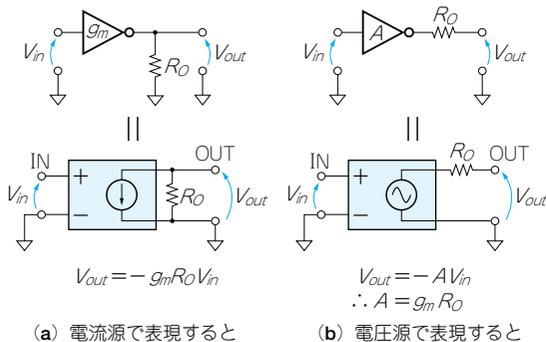
■ 特徴と基本動作原理

● CR型より低ひずみ特性が得られる

LC発振回路は、コイル(C)とコンデンサ(L)を使用した発振回路で、最も古くから使われています。能動素子には、トランジスタやFETがよく使われます。

CR型と異なり、LC共振回路のQが高いため、振

〈図20-1〉発振回路の能動素子を電流-電圧変換素子に置き換えると動作がわかりやすくなる



幅制御回路にリミッタ型を使用しても低ひずみな出力が得られるという特徴があります。

● 能動素子を電流-電圧変換素子に置き換えると理解しやすい

トランジスタやFETは寄生インピーダンスが多いので、等価回路なども複雑です。しかし、トランジスタやFETの出力特性が定電流特性を示すことから、理想的な能動素子、つまり図20-1(a)のように**電圧-電流源と出力抵抗に置き換えて考えると理解しやすくなります**。電流源の部分はインバータの記号を使って表現できます。

図20-2に、インバータ記号を使って表したLC型発振回路の基本回路を示します。Z1～Z3は負帰還回路で、位相が180°回って負帰還が正帰還になって発振します。

振幅制御回路は、電圧-電流変換回路の電源電圧による飽和を利用したリミッタ型です。CR発振回路と異なり、**LC共振回路のQが高いため、リミッタ型振幅制御回路でも正弦波になります**。

● コルピッツ型とハートレー型がある

表20-1に示すように、図20-2に示すZ1～Z3に使う部品の違いによって、**コルピッツ型**と**ハートレー型**に分類できます。コルピッツ、ハートレー、および後出の発振回路に付けられた名称は考案者の名前です。

実際のトランジスタやFETに近づけるために理想電圧-電流変換回路に寄生インピーダンスを付加しても、細かい発振条件は変わりますが、構成素子は変わりません。

表20-1に示すL性は誘導性、C性は容量性の略称です。便利なのでよく使われています。

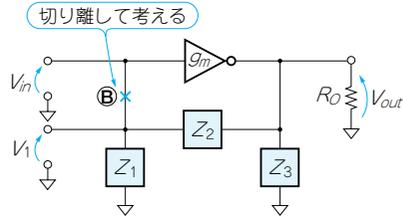
● 実際の発振回路

OPアンプを使ってLC発振回路を作ることも可能ですが、**周波数の高いところで使われるため、トランジスタやFETを使用するのが一般的**です。ここでは

〈表 20-1〉 コルピッツ型とハートレー型の LC 発振回路の発振条件

| 項目 \ 回路方式 | コルピッツ型 | ハートレー型 |
|-------------|--|---------------------------------------|
| Z_1 | C 性 (C_1) | L 性 (L_1) |
| Z_2 | L 性 (L_2) | C 性 (C_2) |
| Z_3 | C 性 (C_3) | L 性 (L_3) |
| 発振周波数 f_0 | $\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} - L_2}}$ | $\frac{1}{2\pi\sqrt{C_2(L_1 + L_3)}}$ |
| 発振条件 | $\frac{g_m R_0 C_3}{C_1} \geq 1$ | $\frac{g_m R_0 L_1}{L_3} \geq 1$ |

〈図 20-2〉 LC 発振回路の動作原理



次式が成り立つ。
 $V_{out} = -g_m \{R_0 // Z_3 // (Z_1 + Z_2)\} V_{in}$
 $V_1 = V_{out} \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$
 ただし、 Z_1, Z_2, Z_3 は純リアクタンスとする。
 発振するためには、
 $\frac{V_1}{V_{in}} = -g_m \frac{R_0 Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2) Z_3 + R_0 (Z_1 + Z_2 + Z_3)} \geq 1$
 したがって、
 $Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0$ (20-1)
 $-g_m \frac{R_0 Z_1}{Z_1 + Z_2} \geq 1$ (20-2)
 Z_1, Z_2, Z_3 をそれぞれLまたはCとして検討すると、
 表20-1に示す二つの場合だけ上記条件を満足する

CMOS インバータ IC を使った発振回路だけを紹介し
 ます。

▶ **インバータの出力に抵抗を付けて定電流特性にする**
 図 20-3 に、CMOS インバータ IC TC74HCU04 (東芝) のゲイン周波数特性を示します⁽²⁾。

出力インピーダンスは約 50 Ω と低く、定電圧出力に近い
 ため、出力に抵抗を付けて定電流特性に近づけます。
 抵抗がないと定電圧出力になるため、後述のよう
 に Z_3 による位相回転が期待できず、発振のしやす
 さは、インバータ内部の位相回転量に強く依存します。
 安定に発振させるためには、必ず抵抗を入れる必要が
 あります。

▶ **CMOS インバータを使う理由**

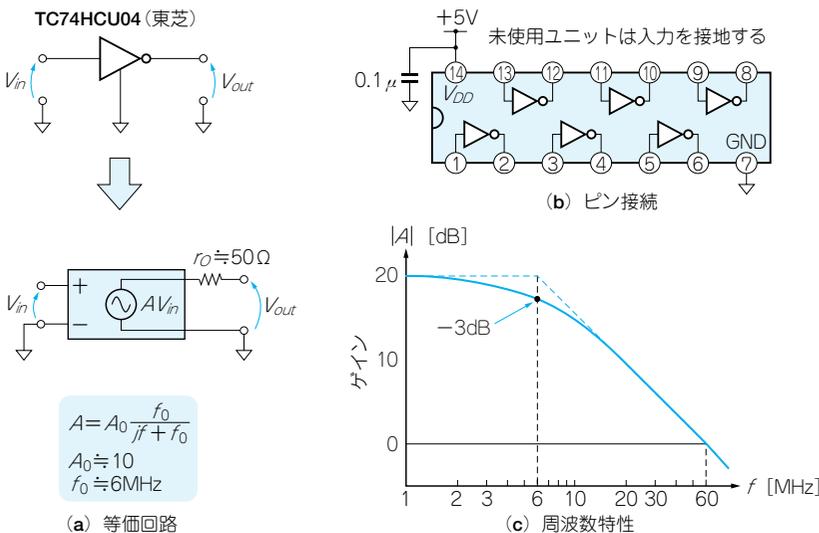
CMOS インバータ IC を使う理由は、実験を簡単
 にするためと、再現性が良いからです。

前述のようにトランジスタや FET は寄生インピー
 ダンスが多いのですが、CMOS インバータは、ゲ
 インが約 20dB と小さいことを除けば、入力抵抗が無
 限大、入力容量が小さい (配線の浮遊容量のほうが大き

い)、出力インピーダンスが約 50 Ω とほぼ理想的な素
 子です。

トランジスタは入力インピーダンス h_{ie} が温度と動
 作電圧、そして物によって大きくばらつきます。
 FET は CMOS インバータと同様ですが、やはりパラ
 メータが物によって大きくばらつきます。一番の欠
 点は、動作点 (バイアス電圧) を調整しなければならない
 ことです。この点、OP アンプや CMOS インバータは
 簡単に使えます。

〈図 20-3〉⁽²⁾ CMOS インバータ TC74HCU04 の等価回路とゲイン周波数特性



〈図 20-4〉 CMOS インバータ TC74HCU04 によるコルピッツ型発振回路

