

個別部品で組み立てて動作原理から設計法までを理解する PLL 周波数シンセサイザの設計法徹底解説

第4回 基準信号源の設計と製作その2

小宮 浩
Hiroshi Comiya

前回(第3回, 2006年5月号)は, 水晶振動子の等価回路と共振周波数を可変する方法を解説しました。

今回は, その共振周波数を可変にした水晶振動子を使って, 発振器を設計, 製作します。

写真4-1に完成した10 MHz VCXOの外観を示します。PLLの基準信号 f_R を作る基板の上に載る, モジュール構成の子基板として製作しました。

水晶振動子を使った 発振回路のモデル

一般的な水晶発振回路として, ピアス型やコルピツ型が有名です。今回はコルピツ型を採用します。

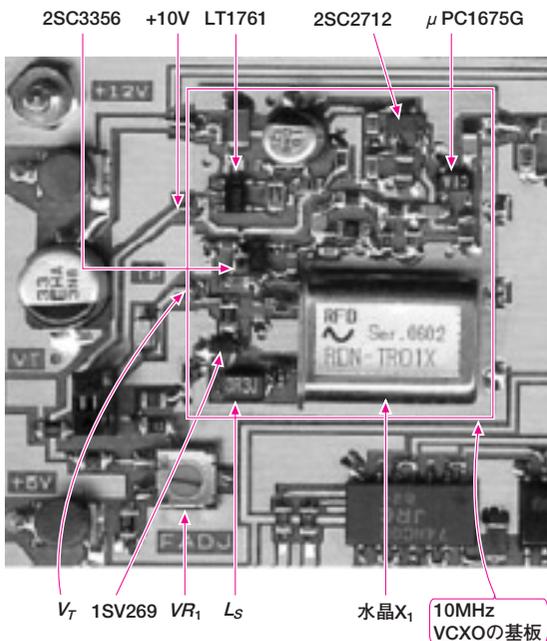


写真4-1 製作した基準信号源用10 MHz VCXOの外観

● コルピツ型的水晶発振回路モデル

図4-1に, コルピツ型的水晶発振回路モデルを示します。動作に重要な部品だけを示したもので, 実際の回路ではこのほかにバイアス回路などが必要です。

水晶 X_1 には, 共振周波数を変えるための L_S と C_T が直列に接続されています。そのほかに, 帰還コンデンサの C_1 と C_2 , トランジスタによるアンプが構成要素です。

● 発振器モデルにあてはめて解析する

発振器モデルについては, 第2回(2006年4月号)で, LC発振器の場合を解説しました。水晶発振器の場合もまったく同じモデルで考えることができます。

図4-2(a)に示すように, 発振器モデルはアンプ部 $A(s)$ とフィルタ部 $F(s)$ から構成されます。

水晶発振器として書きなおせば, 図4-2(b)に示すように, フィルタ部 $F(s)$ が水晶共振回路となります。

この発振器モデルに合わせて図4-1のコルピツ型水晶発振回路を書き直すと, 図4-2(c)に示すように, アンプ部 $A(s)$ とフィルタ部 $F(s)$ に分けられます。

● 発振器モデルから発振する条件を考える

このアンプ部 $A(s)$ とフィルタ部 $F(s)$ からなる回路が, 次式の条件を満足すると発振することになります。

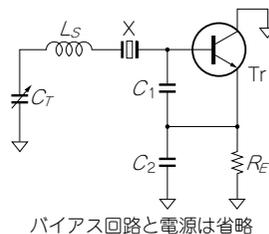


図4-1 コルピツ型水晶発振回路によるVCXOのモデル

Keywords

VCXO, コルピツ型水晶発振回路, オープン・ループ法

$$A(s)F(s) > 1 \dots\dots\dots (4-1)$$

ゲイン： $|A(j\omega)||F(j\omega)| > 1$

位相： $\angle A(j\omega) + \angle F(j\omega) = 0$

これは、アンプとフィルタを合わせた位相回転が 0° で、合計のゲインが1倍以上となる周波数があれば、その周波数で発振することを意味します。

水晶発振回路の場合、水晶 X_1 の定数は変えられません。発振条件が満たされるように、そのほかの部品 (C_1 や C_2 など) の値を決める必要があります。

発振に必要な条件をシミュレータで解析する

発振条件を満たす C_1 や C_2 などの値は、どのように決めればよいでしょうか。数式を使って解析する方法は、難しく、手間もかかります。

そこで、RFシミュレータを使うことにします。

● シミュレータでループ内の伝達特性を調べる

図4-2(c)に示すように、発振回路は帰還ループが閉じたクロズド・ループで動作します。

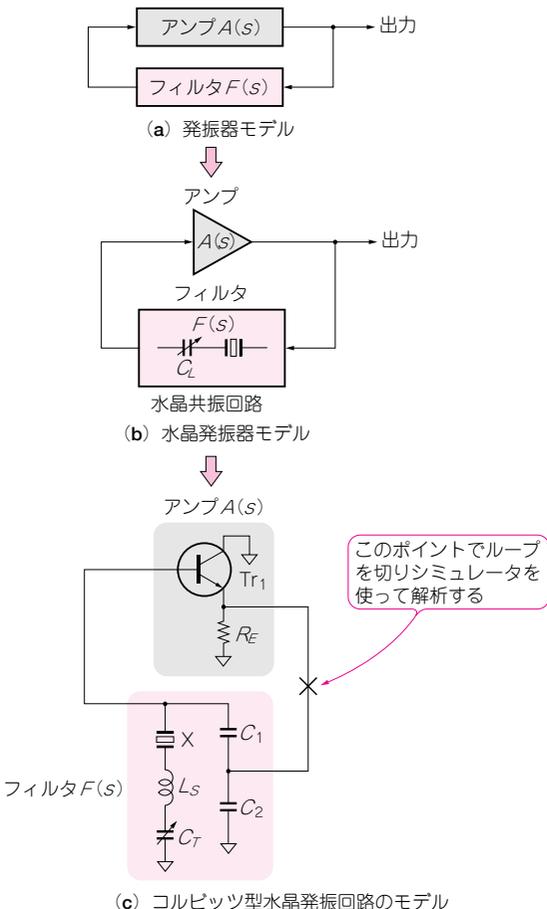


図4-2 図4-1のモデルを発振器モデルに対応させる

式(4-1)による検討が必要なのはアンプ部とフィルタ部を合わせた伝達特性 $A(s)F(s)$ ですから、ループをしていなくても解析できます。

そこで、図4-2(c)のXのポイントでループを切り、オープン・ループとします。入力から出力の伝達特性は $A(s)F(s)$ になるので、これを解析すればよいはずで、この方法をオープン・ループ法といいます。

● シミュレーションの方法

▶ ループを切った回路を考える

オープン・ループとしたコルピッツ型的水晶発振回路を書き変えると図4-3のようになります。

このオープン・ループにした回路を、RFシミュレータ(S-NAP LE)で解析してみましょう⁽⁷⁾。

ループを切ったポイントをPORT1、PORT2として、その間の S_{21} 特性を求めます。

▶ 水晶を等価定数で表す

設計に用いる 10 MHz 水晶振動子の等価定数は、前回で用いたものと同じです。図4-4に再掲します。

L_S は $3.3 \mu\text{H}$ 、 C_T には $10 \text{ pF} \rightarrow 40 \text{ pF}$ ほどに容量が可変できるバラクタ(可変容量ダイオード)を使用することを想定します。

L_S の必要性和 C_T による共振周波数の動きについては、前回の記事を参照してください。

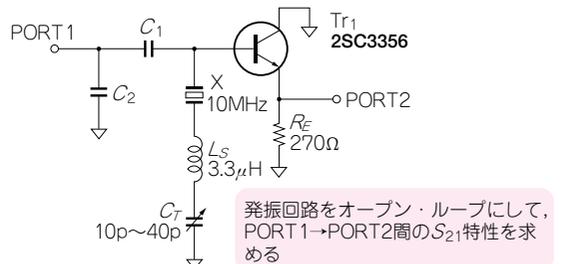
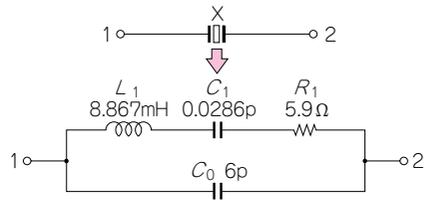


図4-3 シミュレーションで解析する回路
この回路の伝達特性から発振する条件を考える



直列共振周波数 f_s は、

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \approx 9.994217 \text{ MHz}$$

無負荷 Q は、

$$Q_0 = \frac{2\pi f_s L_1}{R_1} = \frac{1}{2\pi f_s R_1 C_1} \approx 94300$$

図4-4 使用する 10 MHz 水晶振動子の等価定数