

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7回 電圧制御発振器 VCO の設計/製作 その3

小宮 浩
Hiroshi Comiya

前回(第6回, 2006年8月号)は, 低位相雑音化のための方法論でした。

今回は VCO の設計, すなわち回路を選び, 定数を決めていく作業に移ります。

● 面倒な計算をせずシミュレーションを利用

高周波の発振回路を設計する方法には, いくつかの伝統的な手法があります。しかし, それらの方法を使うには, 等価回路を導き, 複雑な数式を解かなければなりません。その面倒を避けるために, シミュレータを用いることにします。

解析には S-NAP LE⁽⁶⁾ を用います。評価版のためノード数などの制限があり, 素子数の多い大規模な回路は扱えませんが, 基本的な解析には十分です。

● 発振器の設計には RF シミュレータを使うと便利

シミュレーションを利用する前の私は, 発振余裕度と位相雑音が最適となる定数を見つけるのに, ひたすら値を変更して実験を繰り返していました。俗に言うチェンジニアです。シミュレータの登場で, なぜその値にしたのか, 今になって納得しています。

今回解説するオープン・ループ法では, ループを切り離れた点でのミスマッチによるゲイン低下などを考慮していないので, 実際の回路とシミュレーションとの間に, 原理的な誤差があります。ミスマッチを含む解析方法など, より改良された様々な発振器シミュレーション手法が考案されています。

しかし, 各定数を変更したときの各特性の動きは, オープン・ループ法でもしっかりと把握できます。

私が発振器を設計するときには, オープン・ループ法によるシミュレーションが不可欠となっています。

● 広帯域の VCO を設計するのは難しい

最終目標の「出力周波数 180 M ~ 360 MHz の広帯域 PLL 周波数シンセサイザ」に用いる VCO の設計法を解説したいのですが, 残念ながら困難です。

広帯域 VCO の場合, 最良の設計をするためには, シミュレーションだけではうまくいきません。実際の回路の実験結果とシミュレーション結果を照らし合わせながら, 試行錯誤を繰り返すのが一般的です。この過程は, 順序だてて説明することができません。

● 狭い帯域の VCO を題材に設計法を解説する

そこで, 制限を甘くした, 180 M ~ 220 MHz の発振帯域をもつ VCO の設計を解説します。

200 MHz 帯以下なら, コイルやコンデンサなどの素子の等価回路が単純ですむ場合が多く, 理論と実測がよく一致します。そのため, 設計法をわかりやすく解説できます。

▶ コイルも設計してみる

共振回路にソレノイド(円筒状)空芯コイルを用います。次回, 市販コイルを使うのではなく, コイルの設計も試みます。

発振器をアンプとフィルタに分けて解析する

連載第4回(2006年6月号)では, 10 MHz の VCXO をオープン・ループ法で設計しました。今回の VCO の設計でも, 同様にオープン・ループ法を使います。

VCXO の場合には, 水晶という振動子が準備されていました。それに対して VCO では, パラクタで共振周波数を可変する **LC 共振回路を高い Q が得られるように設計する必要があります。**

連載第5回(2006年7月号)で LCR 直列/並列共振回路と Q の関係について解説したのは, そのためでした。

Keywords

VCO, コルピッツ, 発振器, オープン・ループ法, 発振条件, 帰還コンデンサ

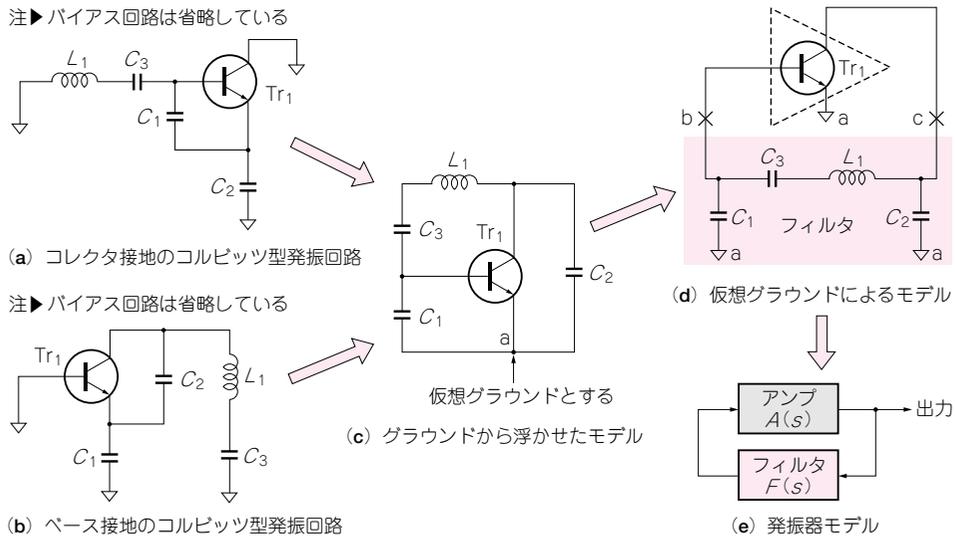


図7-1 コルピッツ発振回路を発振器モデルで表す
ループを切り、フィルタとアンプが接続された回路として解析する

● 解析しやすい等価回路を導く

トランジスタを使った発振回路にはいくつかの形式があり、また接地方法の違いもあります。

▶ 二つの発振回路を例として取り上げる

高周波のLC発振回路にはコルピッツ型がよく用いられます。今回はコルピッツ型を使います。

図7-1(a)にコレクタ接地のコルピッツ型発振回路を示します。厳密には、コルピッツ型の変形であるクラップ回路です。また、図7-1(b)にはベース接地のコルピッツ型発振回路を示しています。

▶ 違うように見える二つの回路でも等価回路は同じ

この二つの回路は、グラウンドを浮かせて(フローティングさせて)書き直すと、実は図7-1(c)に示すように、まったく同じ回路になります。

▶ 等価回路をさらに発振器モデルに書き直す

このフローティングしたモデルの点aをグラウンドとみなして(仮想グラウンドとして)回路を描くと、図7-1(d)のように書き換えることができます。

この仮想グラウンドを加えたモデルは、図7-1(e)の発振器モデルとして、アンプ部A(s)とフィルタ部F(s)とで表されます。この形になれば、オープン・ループ法で解くことができます。

▶ アンプとフィルタを接続した回路で解析する

回路が発振するには次式の条件を満足しなければなりません。

$$A(s)F(s) > 1 \dots\dots\dots (7-1)$$

$$\text{ゲイン: } |A(j\omega)| |F(j\omega)| > 1$$

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

すなわち、アンプとフィルタの位相シフトが0°となる周波数でのゲインが1倍以上あれば発振するとい

うことです。

発振ループを点bもしくは点cで切り離し、オープン・ループにすると、アンプA(s)とフィルタF(s)を直列に接続した伝達特性で発振条件をシミュレーションすることができます。

実際に設計に使うのは、基本的なコレクタ接地のコルピッツ型発振回路、図7-1(a)の回路とします。

**目的の共振周波数と高Qを得る
フィルタの定数**

図7-1で、コルピッツ型発振器をモデル化しました。そのフィルタであるLC共振回路は四つの素子によって構成されています。

L1はソレノイド・コイルで構成し、C3は周波数制御のためにバラクタ・ダイオードを用います。C1とC2は、帰還コンデンサと呼ばれています。

この4素子共振回路をシミュレータで解析しながら、設計、すなわち定数の決定をしてみましょう。

4素子の共振回路になると直感的にその特性を見抜くことが難しくなります。RFシミュレータで特性を描かせる仮想実験は、設計の大きな助けとなります。

● 直列共振するL1とC3の値を選ぶ

目標の発振周波数は180 M~220 MHzです。共振周波数を中心の200 MHzと考えます。

図7-2(a)は、信号源と負荷抵抗を50Ωとして、4素子による共振回路を接続したものです。

まず、C1とC2をオープンにして、L1とC3の2素子による直列共振回路としてL1とC3の値を求めます。

連載第5回で解説したように、同じ共振周波数でも、