

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8回 電圧制御発振器 VCO の設計/製作 その4

コイルとバラクタのモデリング

小宮 浩
Hiroshi Comiya

● 今回のねらい

▶ VCOのキー・パーツはコイルとバラクタ

前回(第7回, 2006年9月号)からは, 200 MHz \pm 20 MHz VCOの設計法を解説しています。

VCOではLC共振を利用しています。VCOで共振周波数を決めているキー・パーツのLとCは, コイルとバラクタ(可変容量ダイオード)です。

▶ コイルとバラクタの寄生成分を確認しておこう

第5回で説明したように, 実際のコイルやコンデンサには寄生成分が存在し, 特性を悪化させます。

コイルには, 直列抵抗と並列容量が存在して, 理想コイルとみなせる周波数が限られます。

バラクタは半導体なので, 高周波に使う一般的なコンデンサよりも直列抵抗が大きくなりがちです。

発振回路のキー・パーツでありながら, この二つは理想と大きく違う素子なのです。

▶ 現実的なVCOの設計には定数の調整が不可欠

前回, VCOをアンプとフィルタに分解して, フィルタ定数の値を決めるところまでいきました。

ところが, 理想的な素子で構成されたフィルタでも, 実際のトランジスタ・アンプと組み合わせると, 特性が生かせません。

良好な発振安定度と位相雑音特性を得るためには, アンプやフィルタの定数を調整する必要があります。

▶ 設計にシミュレーションを使いたい

定数の試行錯誤には, シミュレーションがとても便利です。しかし, シミュレーションの精度が悪いと, 最適な定数から大きく外れてしまい, せっかくシミュレーションする意味が薄れます。

定数設計に使える高精度なシミュレーションを行うために, コイルとバラクタの等価回路も求めておきましょう。

VCOの発振周波数を決めるコイル

■ コイルを自作して特性を確認

コルピッツ型のVCOをアンプとフィルタに分離すると, フィルタは4素子による共振回路になりました。

前回の結果から, 中心周波数を200 MHzとするには, $L \approx 160$ nHのコイルを準備しなければなりません。

● 高性能なコイルは自作すると安価に得られる

昔, 高周波用のコイルは空芯ソレノイド(円筒形)コイルでした。最近は小型化/量産化のために, チップ型のコイルが使われることが多くなっています。いろいろなメーカーで, 発振器用の高性能な小型チップ・コイルが準備されています。

しかし, 安価で性能のよいコイルが欲しいならば, 銅線を用いた空芯ソレノイド・コイルを自分で製作するのが一番よい方法です。さまざまな値のコイルを自作できると, 高周波回路の実験や設計にも非常に便利です。



写真8-1 製作したソレノイド・コイルの外観

Keywords

ソレノイド・コイル, 可変容量ダイオード, バラクタ, バリキャップ, 等価回路, 性能指数, Q

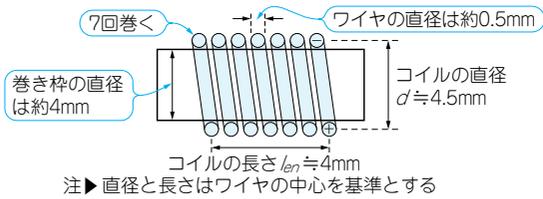


図8-1 製作する160 nHのソレノイド・コイル
0.5 mmのワイヤを直径4 mmの巻き枠に7回巻く

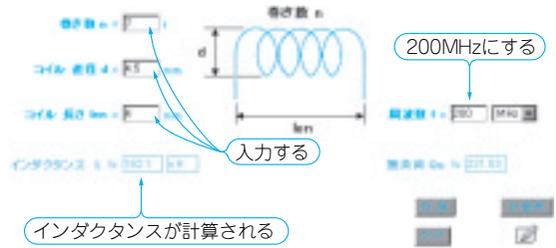


図8-2 ツールを使ってインダクタンスを求める
インダクタンスが欲しい値になるように巻き数や長さを調整

● 直径と長さで巻き数でインダクタンスが決まる

ソレノイド・コイルの形状からインダクタンスを求めるには、いくつかの方法があります。インダクタンスを求めるための図表(ノモグラフ)がありますし、計算式も数通りあります。

▶ インダクタンスの簡易計算式

私の場合、次のホイラーの簡易計算式をよく用います⁽¹⁾。

$$L = \frac{n^2 r^2}{9r + 10l_{en}} \quad [\mu\text{H}] \quad \dots\dots\dots(8-1)$$

ただし、 n ：巻き数 [ターン]、 r ：コイルの半径 [inch]、 l_{en} ：コイルの長さ [inch]

この式は、 $l_{en}/2r > 0.33$ であれば相当正確で、誤差は1%ほどです。

インダクタンス計算ツールを私のホームページに載せてありますので、ご活用ください。使いやすいように、単位を [inch] → [mm]、半径 r → 直径 d に換算してあります。

▶ <http://gate.ruru.ne.jp/rfdn/>

● $L \approx 160\text{ nH}$ となる具体的な形状を求めて製作する

写真8-1に示すのは、製作したソレノイド・コイルの外観です。

ソレノイド・コイルの性能指数 Q は、一般に直径 d が大きくなると高くなります。しかし、あまり大きいのも考えものです。ちょうど4 mmほどの筆の柄があるので、これを巻き枠にして作ることにします。

直径0.5 mmほどのワイヤを使うと、図8-1に示すようにソレノイド・コイルの直径 $d \approx 4.5\text{ mm}$ となります。

なるべく小型にしたいので、ほぼ密接巻きにすると考えると、巻き数でコイル長さがほぼ決まります。

図8-2に示すようにホームページ上のツールを用いて、直径 $d \approx 4.5\text{ mm}$ となるような $L \approx 160\text{ nH}$ のコイル形状を求めると、次の値となります。

- コイルの直径 $d = 4.5\text{ mm}$
- 巻き数 $n = 7$ ターン
- コイルの長さ $l_{en} = 4.0\text{ mm}$

ワイヤの直径から単純に計算すれば、巻き数7ターンのときコイルの長さは3.5 mmになりますが、イン

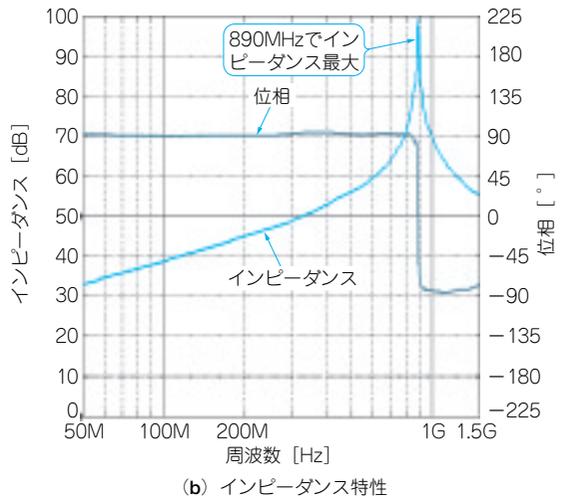
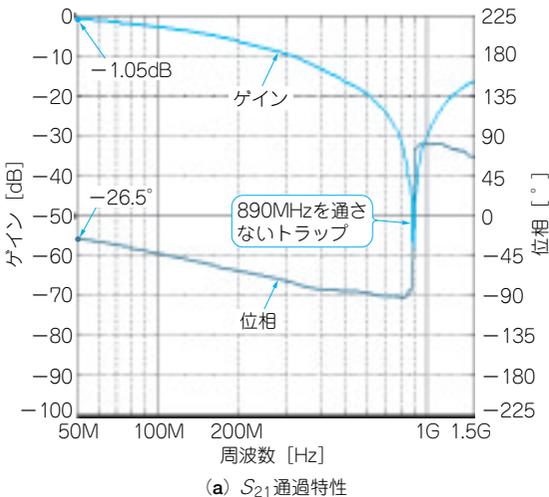


図8-3 製作したコイルの周波数特性(実測)
単なるコイルのはずだが並列共振特性になっている