

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9回 電圧制御発振器 VCO の設計/製作 その5

180 M ~ 220 MHz VCO の設計/製作

小宮 浩
Hiroshi Comiya

今回は、180 M ~ 220 MHz VCO の具体的な設計と製作を行います。

この連載の最終目標は 180 M ~ 360 MHz を出力する PLL 周波数シンセサイザです(図9-1)。それに使われる VCO も当然 180 M ~ 360 MHz を出力できなければいけません。その設計法はわかりやすく解説することができません。

そこで、これまで設計法の基礎を解説するために、帯域を狭めた 180 M ~ 220 MHz VCO について検討を進めてきました。

連載第7回(2006年9月号)は、VCO をオープン・ループ法によりアンプとフィルタに分離して、フィルタのおおまかな定数設計を行いました。

前回の連載第8回(2006年10月号)は、そのフィルタに使う空芯ソレノイド・コイルの設計をして、コイルと可変容量ダイオード(バラクタ)のモデリングを行いました。

今回は、それらの等価回路を組み入れたシミュレーションを用いて、180 M ~ 220 MHz VCO の設計を完成させ、実際に製作してみます(写真9-1)。

ゲインだけでなく位相特性も 良好なアンプが必要

発振器全体のシミュレーションの前に、アンプ単体の位相特性を向上する方法があるか考えてみましょう。

連載第7回で詳しく説明したように、オープン・ループ法での 200 MHz のコルピッツ型発振器は、図9-2 に記すアンプとフィルタの従属接続に展開できます。

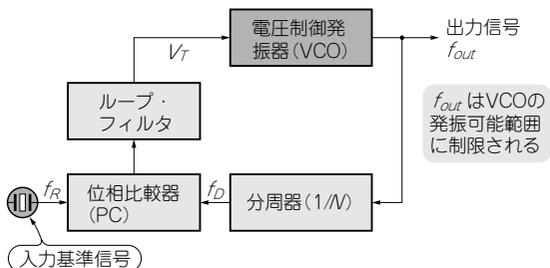


図9-1 PLL 周波数シンセサイザの基本構成

VCO は制御電圧 V_T に応じて f_{out} を作り出す

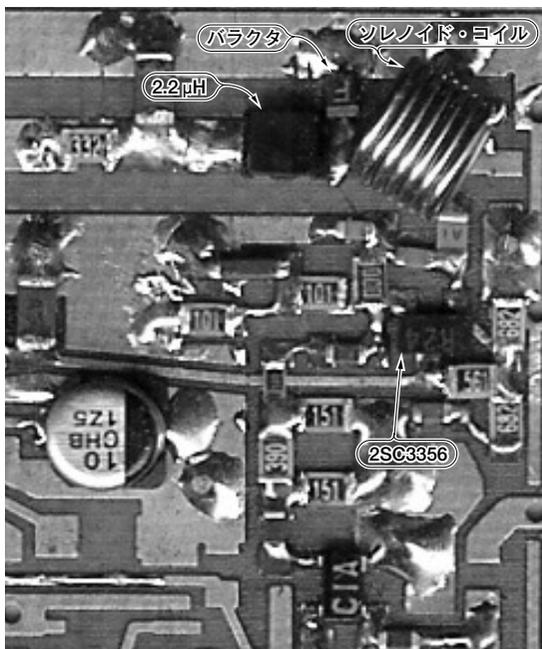


写真9-1 製作した 180 M ~ 220 MHz VCO の外観

Keywords

VCO, オープン・ループ法, 2SC3356, 負帰還, KV1811E, 減衰パッド, 整合

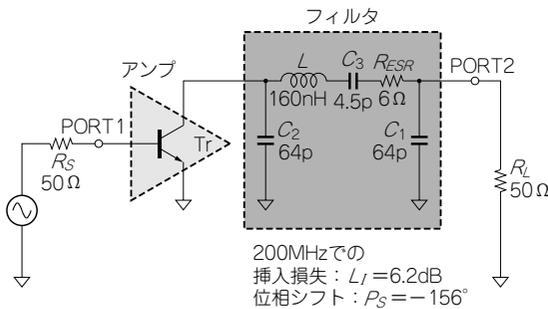


図9-2 アンプ部単体で取り出して特性を検討できるようにVCOをアンプとフィルタの直列接続で表現する
フィルタは連載第7回で設計/解析した

■ f_T の高いトランジスタを使いたいが異常発振しやすい

● フィルタでの位相回転を打ち消しかつ十分なゲインが欲しい

LCフィルタ部の C_1 と C_2 を増すと、挿入損失 L_I は増えますが、 Q_L を高くでき、位相シフト量は -180° に近づきます。

連載第7回の記事で設計した $Q_L \approx 17.1$ の200 MHz フィルタ単体での特性は、挿入損失 $L_I = 6.2$ dB、位相シフト $P_S = -156^\circ$ でした。

理想的なアンプの特性としては、挿入損失を補う十分なゲインと、位相を 0° に戻すための $+156^\circ$ の位相特性が必要です。

● 実際のアンプの位相特性は十分とはいえない

アンプに用いるトランジスタの S_{21} 伝達特性の位相特性を見ると、十分に低い周波数では $+180^\circ$ に近く、 $+156^\circ$ の要求に対してそれほど問題ないのですが、周波数が高くなるにしたがって、その値が小さくなってしまいます。

今回のVCOに採用するトランジスタは2SC3356で、安価で入手も容易な高周波トランジスタです。

2SC3356をコレクタ電流 $I_C \approx 20$ mA で用いたときの、メーカー公表の S_{21} 伝達特性を表9-1に示します。

50 MHzでの S_{21} の位相は $+150.7^\circ$ ほどありますが、200 MHzでは $+109.1^\circ$ まで小さくなってしまいます。さらに1 GHzになると $+60.1^\circ$ まで減少します。

第7回の図7-6から図7-10の説明も参照ください。

● ゲイン帯域幅積 f_T の高いトランジスタなら位相回転は少ないが異常発振しやすい

この位相シフト量を減らすには、ゲイン帯域幅積 f_T の高いトランジスタを用いるのが有効ですが、通常 f_T の高いトランジスタほど低域でのゲインも大きくなります。

表9-1 2SC3356の $I_C = 20$ mAでの S_{21} 伝達特性
周波数が高くなるほどゲインは低下し位相も小さくなる

周波数 [MHz]	ゲイン		位相 [°]
	[倍]	[dB]	
50	31.483	30.0	150.7
100	24.505	27.8	129.0
200	15.262	23.7	109.1
400	8.281	18.4	92.0
600	5.643	15.0	82.7
800	4.288	12.6	75.7
1000	3.472	10.8	69.1

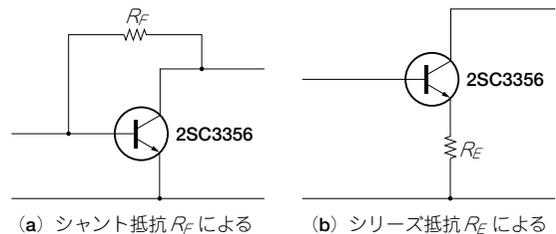


図9-3 異常発振を起こしにくくするために負帰還をかける
二つの方法の一番大きな違いは出入カインピーダンス

その結果、低域での異常発振(スプリアス発振)を引き起こしやすくなります。

実際に、2SC3356 ($f_T \approx 7$ GHz)を今回設計している200 MHz VCOにそのまま用いたところ、異常発振を起こしてしまいました。

位相シフト量を少なくするには、 f_T の高いトランジスタを用いなければいけません、その結果、異常発振を起こしてしまいます。

■ 負帰還で異常発振を防ぎ同時に位相特性も改善する

異常発振は、アンプに帰還(フィードバック)回路を設けて、負帰還増幅回路とすることで解決できます。

さらに、負帰還を使うことで、高域で位相が小さくなる問題も改善されます。

● 負帰還を使うとどんな効果が得られるか

1段トランジスタ・アンプでの負帰還の方法には、図9-3に示す二つの方法があります。

一般には、アンプに負帰還を施すことの利点として、

- (1) ゲインが安定する
- (2) 周波数特性が向上(帯域特性が平坦になる)
- (3) ひずみの低減

などが挙げられます。では、今回問題にしている、位相特性についてはどうでしょうか。RFシミュレータS-NAP LE⁽⁷⁾で解析してみましょう。