

VCO/VCXOの原理と方式

無線通信，放送分野ではさまざまな周波数の電波が使われています。例えば，中波ラジオ放送には526.5 k～1606.5 kHz，地上波VHFテレビ放送には90 M～108 MHz(1～3ch)および170 M～222 MHz(4～12ch)が割り当てられています。

送信機は電波を発射するので，電波の周波数の元となる信号を発振する回路が必要です。また，受信機もほとんどがスーパーヘテロダイン方式なので，発振回路(ローカル発振器)を必要とします。送信周波数は高精度を要求されるので，かつては水晶発振回路が使われていました。しかし，複数の周波数を発振するためには複数の高価な水晶振動子が必要であり，回路面積も大きくなってしまいます。

その後，デジタルIC技術が進歩し，PLL(Phase Lock Loop；位相ロック・ループ)回路を安価に構成できるようになると，一つの高安定水晶発振回路を基準にして必要な周波数を発生できるシンセサイザ方式が使用されるようになりました。もちろん，**受信機側に水晶制御PLLシンセサイザ回路を利用すると，周波数の設定が容易で安定した受信が可能です。**そのため，今日では中波ラジオでさえ高安定度PLLシンセサイザ回路を使用しているものがあります。

さて，図1に示すように，PLLシンセサイザ回路にはVCO(Voltage Controlled Oscillator；電圧制御可変発振器)が必須です。VCOはほかの回路とともにプリント基板に組み込まれますが，ディスクリート部品を使って作る場合と，VCOとしてモジュール化された部品を使う場合があります。ここでは，無線通信機に使用するVCO回路を組むうえでの留意点と，VCOモジュールの選択基準および使い方を解説します。

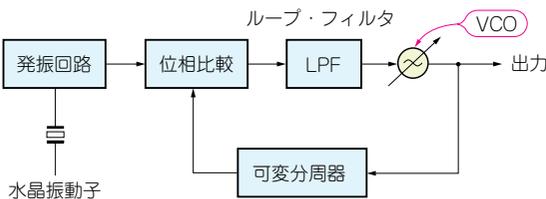


図1 PLLシンセサイザの基本構成

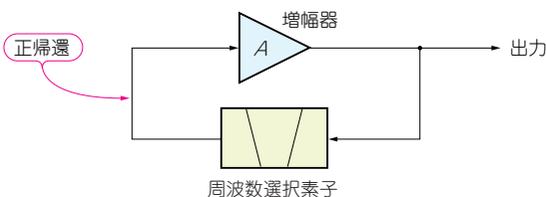


図2 発振回路の原理的な構成

● 発振の原理

まず，正弦波発振回路の原理から説明します。原理は図2のとおりで，増幅器と周波数選択素子で構成します。ループ・ゲインが1以上で正帰還(増幅器の入力信号と出力信号が同位相)であることが発振条件です。原理図のとおりだと最初に信号が存在しないと発振を開始できませんが，実際の回路では電源投入時のノイズなどがトリガとなって発振を開始します。

ループ・ゲインが1に近い場合はわずかなノイズでは発振を開始しないことや，正常な出力レベルに達するまでに長い時間がかかることがあります。そのため，十分利得の高い増幅器を使い計算上のループ・ゲインを1より十分大きな値にしておきます。

いったん発振を開始すると，正帰還がかかっているため出力は無限に大きくなろうとしますが，実際の回路はダイナミック・レンジ(動作範囲)が限られていますから，飽和して利得が低下します。そして，ループ利得がちょうど1になる時点で発振が継続します。

● 周波数可変の周波数選択素子を使った発振回路「VCO」

周波数選択素子によって帰還する周波数が制限されるため，**発振周波数は周波数選択素子の周波数で決まります。**高周波発振回路では，周波数選択素子としてLC同調回路や空洞共振器，機械的共振器(水晶振動子やセラミック振動子)などが使われます。

周波数選択素子の選択周波数を変更すれば発振周波数を変更できます。例えば，LC同調回路のCにバリコン(variable condenser)を使って周波数を変化させる方法は中波ラジオなどに利用されています。**バリコンの代わりに可変容量ダイオードを使えば，電気信号で発振周波数を制御できる，すなわちVCOになります。**

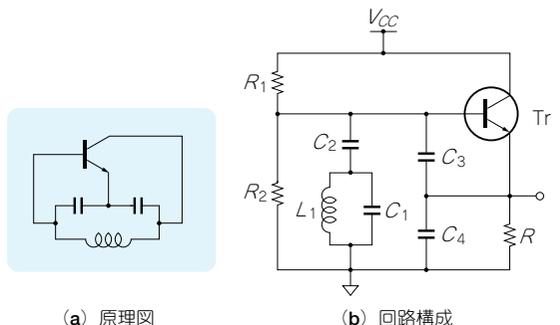


図3 クラップ型LC発振回路

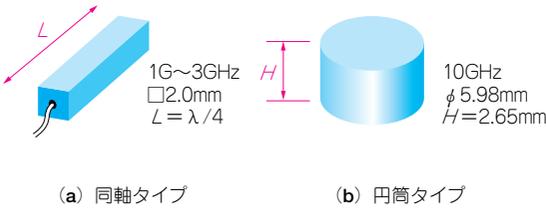


図4 誘電体共振器の例

● VCOの基本回路「LC発振回路」

LC発振回路は設計の自由度が広く、多くのVCOに採用されています。同調周波数を制御するにはLを変化させてもよいのですが、電氣的に制御するにはCを変化させるほうが容易です。これは、可変容量ダイオードが入手がしやすいからです。可変容量ダイオードは素子自身が小型、低価格で、ごくわずかな制御電力で比較的広い容量変化範囲を確保できます。

LC発振回路の回路形式はコレクタ同調型のほか、発明者の名前を付けたハートレー(Hartley)型やコルピッツ(Colpitts)型がありますが、VCOには多くの場合、図3に示すクラップ(Clapp)型が使われます。クラップ型はコルピッツ型の変形ですが、同調回路のCの一端をグラウンドに落とせることと、トランジスタの電極間容量が発振周波数に影響する度合いが少ないことが特徴です。

発振周波数が高くなるとLCの値が小さくなります。UHF帯(300M~3GHz)ではインダクタをプリント基板上に作り込めるので、製造が容易になります。しかし、周波数が高くなるとインダクタのQが低下し、発振出力のノイズ成分が多くなります。そのため、1GHz程度以上の周波数を発振させる場合は誘電体共振器を使用します。

誘電体共振器は比誘電率の高いセラミックを利用しており、いわば空洞共振器を小型にしたようなものです。図4のように、誘電体共振器には、導体めっきなどで同軸構造にしたタイプと、円盤あるいは円筒形で誘電体そのものが共振するタイプがあります。後者のタイプを利用した発振器をDRO(Dielectric Resonant Oscillator)と呼んでいます。

● 水晶振動子を利用した発振安定度の高いVCO「VCXO」

共振器の周波数安定度を上げると、VCOとしての周波数安定度も上がります。安定度のよい共振器として水晶振動子が知られています。一般に水晶振動子を使った発振回路は固定周波数で使われますが、容量可変素子などを追加することで、周波数比で0.1%程度以下とわずかな範囲ですが、可変周波数発振器としても使用できます。つまりVCXO(Voltage Controlled Xtal Oscillator)とは、水晶振動子を共振器として使用

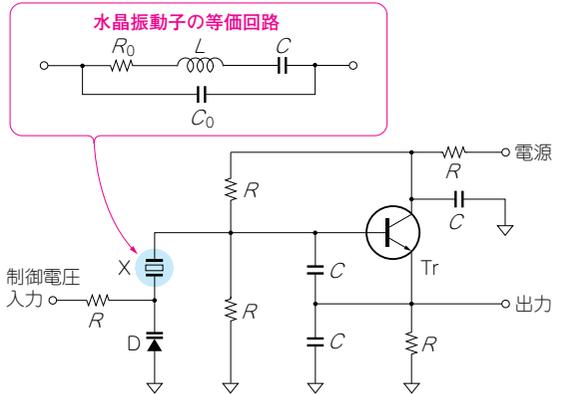


図5 VCXOの回路例

表1 VCOの回路方式と特徴

方式	LC	誘電体		水晶 (VCXO)	SAW
		同軸	DRO		
安定度	△	○	○	◎	○
ノイズ	△	○	○	◎	○
周波数	~1 GHz	0.3 G~ 5 GHz	1 G~ 20 GHz	1 M~ 100 MHz	0.1 G~ 3 GHz
可変率	10~ 20%	~10%	~1%	~0.1%	~1%
価格	◎	○	△	△	○
主な用途	UHF以下の送受信機	UHF~SHFの送受信機	SHFの送受信機、衛星TVチューナ	送受信機の第2ローカル、測定器	UHF以下の送受信機

したVCOということになります。

水晶振動子は機械的振動を利用したものです。図5に示す等価回路で表せます。発振周波数はLとCの直列共振点、あるいはLとC、C0の並列共振点になります。ただし、直列共振周波数≠並列共振周波数です。図5の回路例のように、水晶振動子の一端に変容コンデンサを付ければ、わずかですが発振周波数を変化させられます。水晶振動子に直列にインダクタを追加することでさらに可変範囲を広げられますが、それでも0.1%を越える制御範囲を得ることは困難です。

水晶振動子ではなくセラミック振動子あるいはSAW(Surface Acoustic Wave)振動子を使っても同様なVCOを作れます。水晶振動子に比べて周波数可変範囲を大きくできますが、周波数安定度の面では水晶振動子のほうが優れています。

● VCOの回路方式別の特徴

表1にVCOの方式と特徴を示します。VCOの回路方式によって発振できる周波数や可変幅、安定度が異なります。

発振周波数が1GHz以下であれば、LC発振方式が最もコスト・パフォーマンスが良いといえます。最近では小型で低価格の同軸形誘電体共振器が市販されてい