

## 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11回 位相比較器のふるまい

古典的な乗算型位相比較器の動作を理解する

小宮 浩  
Hiroshi Comiya

図11-1に、PLL周波数シンセサイザの基本構成を示します。前回(第10回, 2006年12月号)までに、

①入力基準信号に用いる水晶発振器

②出力周波数を生み出す電圧制御発振器 VCO

の設計と製作を完了しました。

今回からは、③位相比較器の設計/製作を行います。

PLL(Phase Locked Loop)という名に位相(phase)が含まれることからわかるように、位相比較器は文字通りPLLの中心を成すブロックです。

位相比較器は、PLL用ICに内蔵されたものを使う場合が一般的です。PLL用ICは、位相比較器のほか、基準信号分周器、プログラマブル分周器などがワンチップにまとめられています。

しかし、この連載では位相比較器も分周器も、ディスプレイの部品で設計/製作します。基本的な動作を実際に目で見て確かめるためです。

PLLの基本動作を確実に自分のものにできれば、高性能なPLLの設計に役立てることができるでしょう。

#### 二つの信号の位相差を 出力する回路が位相比較器

位相比較器 PC(Phase Comparator), または位相検波器 PD(Phase Detector)と呼ばれています。本連載

では、位相比較器と呼びます。

位相比較器とは、二つの信号 A と B を入力とし、A - B 間の位相差に応じた信号を出力する回路です。

二つの入力信号の位相差が  $90^\circ$  のときに出力電圧が 0 V となるものと、入力の位相差が  $0^\circ$  のときに出力電圧が 0 V となるものの、二つのタイプがあります。

PLL に用いられているいくつかの代表的な位相比較器の動作原理を調べてみましょう。

#### ミキサ型を例にして位相比較器の 動作を理解する

##### ● 古典的な位相比較器から理解しよう

私が高周波でのPLL周波数シンセサイザの設計を始めた1970年代後半の頃、高周波PLL用の位相比較器は、ミキサを用いたアナログ位相比較器が主流でした。ミキサとは、二つの信号の掛け算結果を出力する回路のことです。

この方式は、今では用いる機会が少なくなりました。しかし、超低雑音を必要とするPLLや、位相比較周波数が高いPLLには、今でも用いられています。

この方式を説明する理由は、「位相差」の概念や、「位相差を検出する」という動作を理解するのに役立つからです。動作原理と特徴をしっかりと把握しておきま

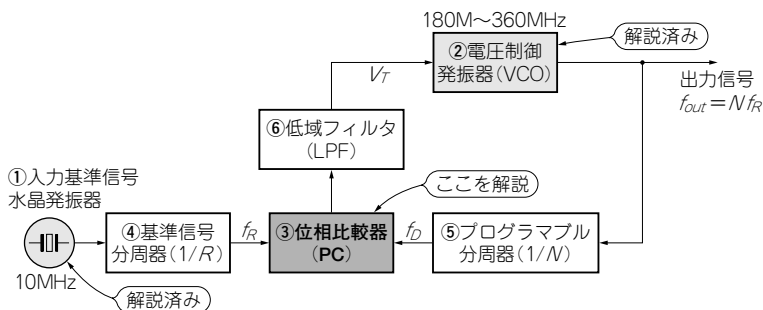


図11-1  
PLL周波数シンセサイザの基本構成  
今回からは位相比較器を解説する

#### Keywords

位相比較器, ミキサ, ミキサ型位相比較器, エクスクルーシブ・オア, 排他的論理和, ExOR, ExOR型位相比較器, 位相周波数比較器

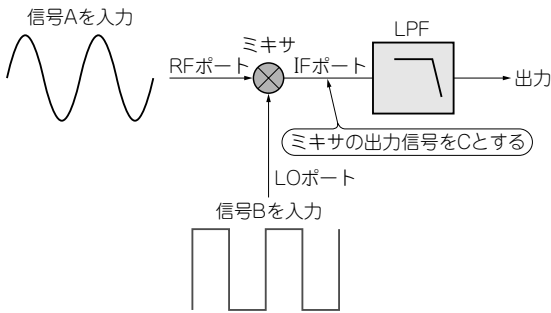


図11-2 ミキサ型アナログ位相比較器の構成  
ミキサのRFポートとLOポートに信号を入力し、IFポートの出力信号にLPFを通す

しょう。

- ミキサの乗算機能により新たな周波数成分が生まれる  
ミキサに周波数  $f_1$  と  $f_2$  の二つの信号を入力すると、和  $(f_1 + f_2)$  と差  $(f_1 - f_2)$  の周波数成分をもった信号を作り出せます。ミキサが乗算器だからです。

ミキサの一般的な使い方は、この動作を使って、周波数を上げたり下げたりすることです。しかし、乗算器であるミキサの動作は、それだけではありません。

- 乗算器であるミキサは位相差の検出もできる

乗算器であるミキサの二つの入力に周波数が同じ信号を入力すると、ミキサの出力は、その二つの信号間の位相差によって変化します。

図11-2には、ミキサ型アナログ位相比較器の構成を示します。ミキサのRFポートとLOポートが入力となり、IFポートが出力となります。

ミキサには、ダイオードを用いたパッシブ型と、トランジスタを用いたアクティブ型がありますが、どちらも位相比較器として使えます。

ミキサのRFポートに正弦波信号Aを、LOポートにはデューティ比50%の方形波信号Bを入力します。信号Bが方形波である理由は後述します。

正弦波の位相を変えると、ミキサの出力信号Cはどのように変化するのでしょうか？

VCOの設計で使用したRFシミュレータS-NAPLEで乗算器を扱うことができるので、これを用いて、時間軸での動作を解析してみましょう。

- ミキサ型アナログ位相比較器の動作

▶ 位相差  $0^\circ$  の場合

図11-3(a)では、RFポートへの正弦波入力AとLOポートへの方形波入力Bの位相差を  $0^\circ$  としています。

ミキサで乗算した結果が図11-3(b)の信号Cです。プラス側にだけ信号が出ています。この信号をLPFに通過させると、正の直流電圧が得られます。この電

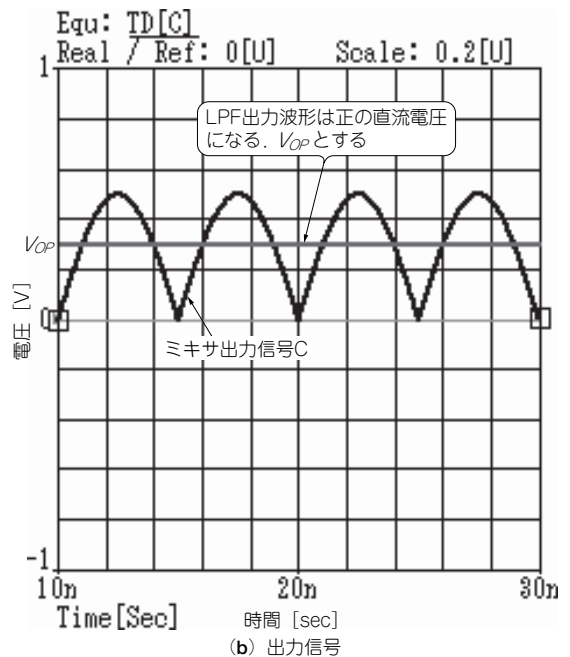
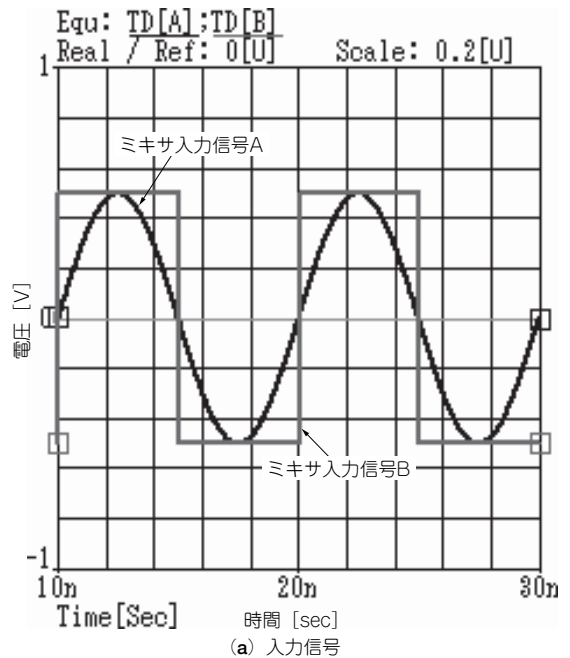


図11-3 位相差が  $0^\circ$  のときのミキサ型アナログ位相比較器の動作波形(シミュレーション)  
LPF出力に正の直流電圧が得られる

圧を正の電圧  $V_{OP}$  とします。

▶ 位相差  $90^\circ$  の場合

図11-4(a)では、RFポートへの入力AとLOポートへの入力Bの位相差を  $90^\circ$  としました。

乗算結果は、図11-4(b)の信号Cです。プラスとマイナスの面積が等しい波形となります。これを