連　載（最終回）

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25回　PLLによるFM変調とPM変調

小宮 浩
Hiroshi Comiya

今回の内容は二つです．

一つは，連載の閉めくくりとして，ここまでで設計したPLL周波数シンセサイザの回路図をまとめます．

電源回路までまとめて1枚の基板に搭載したPLL周波数シンセサイザの外観を**写真25－1**に示します．回路図は記事の最後にまとめます．

▶ PLL周波数シンセサイザによる変調出力

もう一つは，PLLを用いて角度変調をかける方法についての解説です．

PLL周波数シンセサイザが得意とすることの一つに，安定した角度変調波（PM波とFM波）を容易に出力できる点が挙げられます．

身近な例としてはFMトランスミッタがあります．PLLによって安定した搬送波を作り出し（すなわち選局して），これにFM変調をかけて信号を送信します．

PLL周波数シンセサイザによって，安定した角度変調波を生み出すには，どのようにしたらよいかについて解説します．

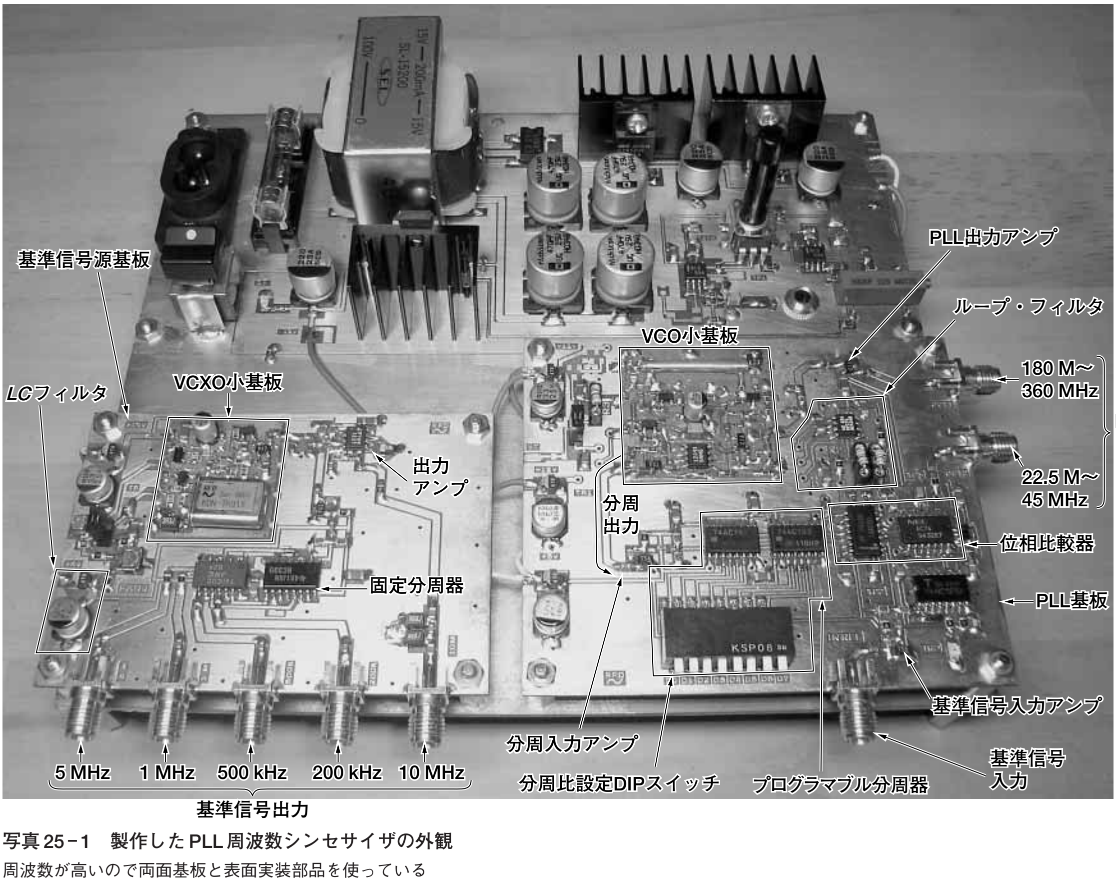

写真25－1　製作したPLL周波数シンセサイザの外観
周波数が高いので両面基板と表面実装部品を使っている

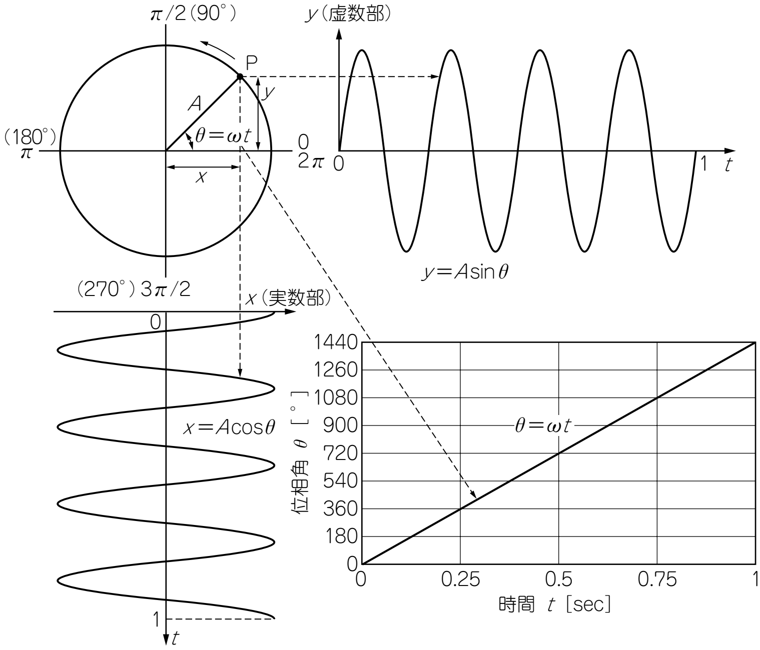

図25-1　正弦波を回転ベクトルでできていると考える
実際には何かが回転しているわけではないが，このように考えると都合が良い

変調のしくみと角度変調

変調とは情報信号(例えば音声信号)に比例した変化を搬送波信号(キャリア)に加えることです．では，どのようにすれば情報信号に比例した変化を搬送波信号に加えることができるでしょうか？

● 正弦波を円運動から発生させると考える

搬送波の基本波形は正弦波です．**図25-1**には円運動による正弦波の発生を図示しました．点Pは，角速度ω [rad/s] で反時計方向に半径Aの円運動をしています．

例えば，角度$\theta=0°$のとき水平投影xはA，垂直投影yは0です．角度$\theta=90°$($\pi/2$ rad)のとき水平投影xは0，垂直投影yはAです．

1周360°は2πradです．1秒当たりの回転角は，1回転当たりの角度と1秒当たりの回転数の積$2\pi f$です．したがって時間tに掃引する角度は$\theta=2\pi ft$です．

正弦波の基本式は次式で表せます．

・ベクトルの実数部

$x=A\cos\theta=A\cos(\omega t)=A\cos(2\pi ft)$…(25-1)

・ベクトルの虚数部

$y=A\sin\theta=A\sin(\omega t)=A\sin(2\pi ft)$…(25-2)

正弦波は微分しても積分(±90°)しても，正弦波のままです．

● 変調…情報信号を搬送波に加える方法

情報信号に比例した変化を搬送波(正弦波)に与える方法を考えましょう．

正弦波の基本式から実数部を考えた式(25-1)を例にとります．この正弦波$A\cos\theta$は，振幅Aと角度θの二つを可変できることがわかります．

振幅Aを情報に応じて変化させると振幅変調(AM：Amplitutude Modulation)となり，角度θを情報に応じて変化させると角度変調(Angle Modulation)となります．

PLLを用いると，後者の角度変調波を安定して得ることができます．

● 角度変調の基礎

正弦波の角度θを変化させて情報を伝達する代表的な方式に，位相変調(PM：Phase Modulation)と周波数変調(FM：Frequency Modulation)とがあります．

PM変調では，搬送波の位相を変調信号を用いて直線的に変化させます．FM変調では，変調波により搬送波の周波数を変化させます．

▶位相変調波(PM波)を表す式

被変調波(変調された搬送波)$e(t)$を次式として表すことにしましょう．

$e(t)=E(t)\cos\{\theta(t)\}$ ……………………… (25-3)

ただし，$E(t)$：瞬時振幅，$\theta(t)$：瞬時位相角

無変調の搬送波角周波数をω_Cとすると，瞬時位相角$\theta(t)=\omega_C t$となり，時間とともに直線的に増加し