エレキ屋による物理現象のあぶり出し探求

FFTアナライザの科学計測応用

第7回　FFT解析に向くTSP(Swept-Sine)信号とは

魚田 隆/魚田 慧　Takashi Uota/Kei Uota

FFT解析に向く信号（前回のおさらい）

前回，FFTアナライザの試験用信号として望ましい条件を挙げました．

1：窓時間と同期して発生させることができ，周波数成分がFFTのビン周波数ときっちり一致していること(**図1**)．
2：FFTビンごとのパワーがなるべく均一で，不規則な欠落がないこと．
3：FFTビンごとのパワー指定が自由で，傾斜・偏り・間引きが可能であること．
4：クレスト・ファクタが小さく，入力レンジに対して実効値が大きいこと．
5：再現性が確実で，発生が容易なこと．

クレスト・ファクタは，（ピーク値）÷（実効値）で求まる値です．この値が小さいほど，ピーク振幅に対して実効値が大きく，測定においてはS/Nを確保しやすくなります．

これらを満たす信号としてマルチサインとTime Stretched Pulse（以下TSP，ISOではSwept Sineが正式名称）があり，前回はマルチサイン信号を紹介しました．今回はTSP信号の作り方を紹介します．

前提として，FFTアナライザが信号発生器(SG)用のD-Aコンバータ(DAC)をもち，測定信号取り込み用のA-Dコンバータ(ADC)と同期して動くことを想定しています．具体的には，連載第4回と第5回で紹介した実験機です．

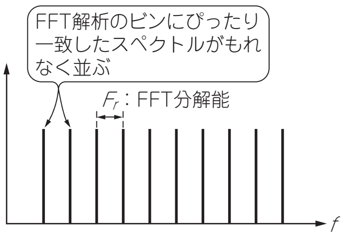

図1　FFTビンにぴったり一致する周波数成分をもつ信号が最適

TSP信号の定義

● 青島TSP

最初に，青島TSP[1]（以下，ATSPと略す）について解説します．

この信号は周波数領域で定義され，逆高速フーリエ変換(Inverse FFT；IFFT)によって時間領域のパルス（疑似スイープ・サイン波）に変換されるという，ちょっと理解しにくい信号です．ATSPの周波数領域における定義は次式です．

$H(n) = P(n) \cdot \exp(j\ \alpha\ n^2/N^2)$　　$0 \leqq n \leqq N/2-1$
$H(n) = P(n) + j \cdot 0$　$n=N/2$（強制特異点）←注目！
$H(n) = H*(N-n)$　　$N/2+1 \leqq n \leqq N-1$
　$P(n)$：試験帯域を制限するための係数，
　α：パルスの拡がりを決める係数

▶定義の解釈

定義上，窓時間内にきっちり整数個が納まる波しか含まれないので，開始点と終了点の位相は等しくなります．nの上昇につれて初期位相は大きくなりますが，中途半端な波数はないので，初期位相＝終止位相です．

初期位相を周波数の2乗比例で与えているのがミソです．もしこれが周波数比例で位相遅れなら，IFFT後の時間波形は無駄時間遅れを呈します．逆に位相進みなら「固定時間進み(？)」というべきでしょうか．

αは任意実数を許容しているので，初期位相は周波数の上昇とともに増えてグルグル回転したあげく，$N/2$では0～2πのどこか中途半端なところで止まります(**図2**)．$N/2$を強制特異点として，実数に固定（位相0）するわけです．

周波数領域の定義から時間領域のインパルスへ戻す方法として，文献(1)では，時間を逆にしたTSP（＝振幅を元の逆数にしたTSP．一見不思議ですね）を畳み込む，という手法が提示されています．この手法では実用的な時間で演算するのは少し無理がある（N^2回の積が必要になる）ので，FFT後の積算で代用します（厳密な適用条件は省略）．