Virtual FFTアナライザ　VFFT　　Ver. 1. 3β

Ver.1.1 作成：1997.11.5

作者：小玉　桂
監修・修整：飯田　裕

iida@uitec.ac.jp

1. はじめに

Virtual ＦＦＴアナライザ　VFFT は FFT アナライザ（波形解析装置）の操作方法や概念を学習するために開発されたソフトで、実際に職業訓練関連の研修などで使用しているものです。特徴を列挙すると次のとおりです。

○単に数学的な処理だけではなく、ボタン操作や画面表示も実機のＦＦＴアナライザを模擬している（ただし操作をわかりやすくするため、階層構造のメニューとはしていない）。
　→高価な FFT を用意せずに操作方法を学習できます。
○高速処理を実現しているので画面表示も入力データに応じて時事刻々アニメーション的に変化する。
　→実機環境を考慮、模擬しています。
○外部記憶装置からデータを取り込むだけでなく、ファンクションジェネレータ（波形発生装置）機能も備えている。
　→基本的な波形がＦＦＴアナライザの上でどう処理されるのか、測定データなしでも確認できます。
○分解能などの点で制約があるものの、サウンドボードを利用して２チャンネルＦＦＴアナライザとしても使用可能である。

2. 動作条件

このソフトは Visual　Basic Ver.4 で作成されていますが、Windows10 ならびに 11 での動作を確認しています（ただし一部表示に若干の不具合があります）。動作しない場合には VB4runtime を別途入手してインストールしてください。

一般的な環境であれば CPU やメモリ容量の制約を受けることはありません。

3. このソフトの使い方

3.1　ファイル構成

このソフトは次のファイルから構成されています（配布形式によっては圧縮されていますので解凍して下さい）。

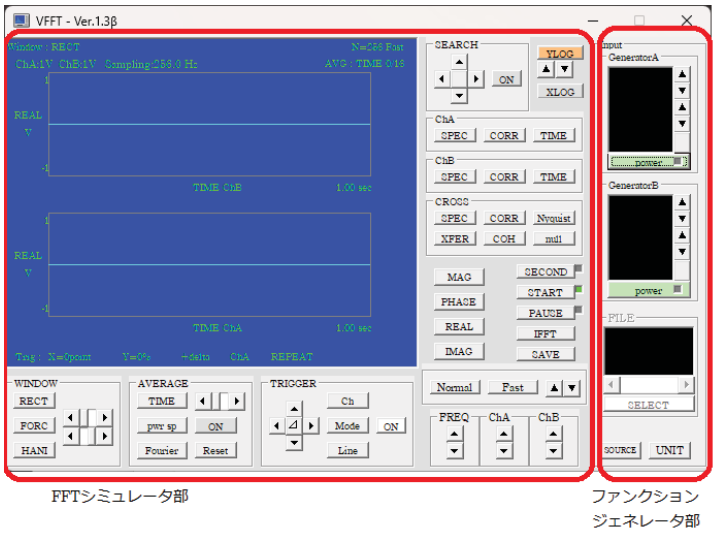
VFFT.exe	Virtual FFT 本体です。
ReadMe.pdf	説明ファイルです。
Read1st.txt	最初にご覧下さい。
Manual.bmp	FFT のボタン操作一覧の画像ファイルです。

3.2　起動方法

エクスプローラーなどで　ＶＦＦＴ．ｅｘｅ　を起動して下さい。

3.3　起動後の操作

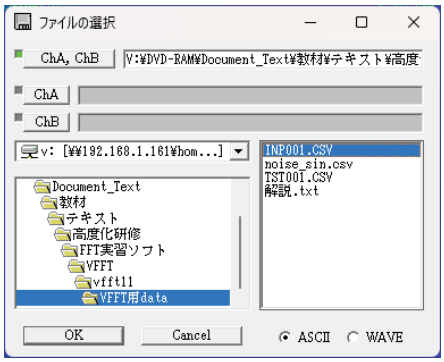
起動するとファンクションジェネレーター一体型の２チャンネルＦＦＴアナライザが画面に現れます。画面の概要は挿入図のほか、実際に起動したり、同梱の画像ファイル Manual.bmp　も併せてご覧下さい。起動直後の状態ではＦＦＴアナライザは作動していますが、ファンクションジェネレータ（２チャンネル）の（仮想）電源は切断された状態にあります。

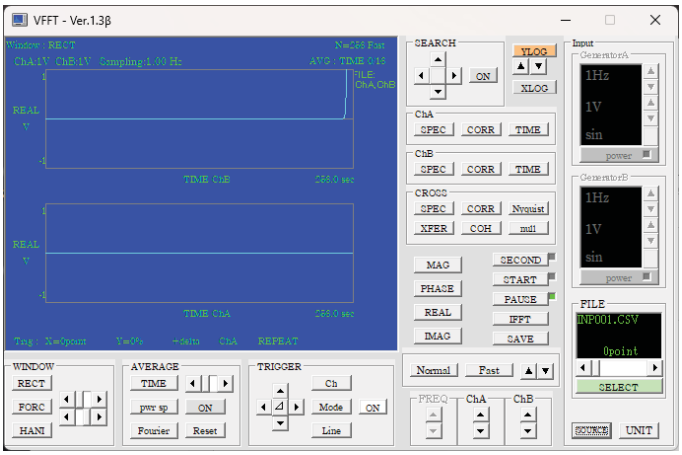


3. 3. 1　信号入力源の選択

解析の対象とする信号はファンクションジェネレータ部で発生させる信号（正弦波、矩形波、三角波）か、あらかじめ各自で用意した外部データファイル（ASCII データまたは WAV ファイル）が利用できます（外部データファイルの書式については後述）。

信号入力は、起動時にはファンクションジェネレータが選択されており、Generator A と Generator B の power ボタンが緑色に点灯しています。右下の【SOURCE】ボタンをクリックすると、入力切り替えが可能で、外部ファイル入力用のウィンドウが開きます。外部データファイルの書式に一致したファイルを選択すると File ブロックにそのファイル名が表示され FILE ブロックの【SELECT】ボタンが緑に点灯します。



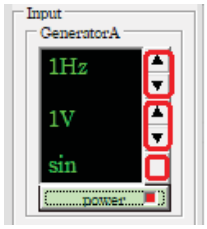


この状態からは【SOURCE】ボタンのクリックにより、データ入力選択がファンクションジェネレータと外部データとに相互に切り替わります。入力する外部ファイルを変更する際には FILE ブロックの【SELECT】ボタンをクリックしてください。

なお入力を切り替えても、それがすぐに FFT の波形表示部（青い部分）に反映されるとは限りません。FFT シミュレータ部の設定に依存します。

(1)ファンクションジェネレータを選択した場合

ファンクションジェネレータを選択した場合には　Generator A（チャンネル A 用のジェネレータ）および／または　Generator B（チャンネル B 用のジェネレータ）ブロックの power（電源）ボタンを押し、波形の種類や電圧、周波数、振幅を決定して下さい。



入力周波数
入力振幅
波形種別

周波数表示の横の▲▼で入力周波数、電圧表示の横の▲▼で電圧振幅、sin 表示の横の□で波形種別（sin=正弦波、step=矩形波、saw=三角波※）をそれぞれ設定できます。

※saw ではのこぎり波が入力されるべきですが、Ver.1.3β では三角波が入力されます。

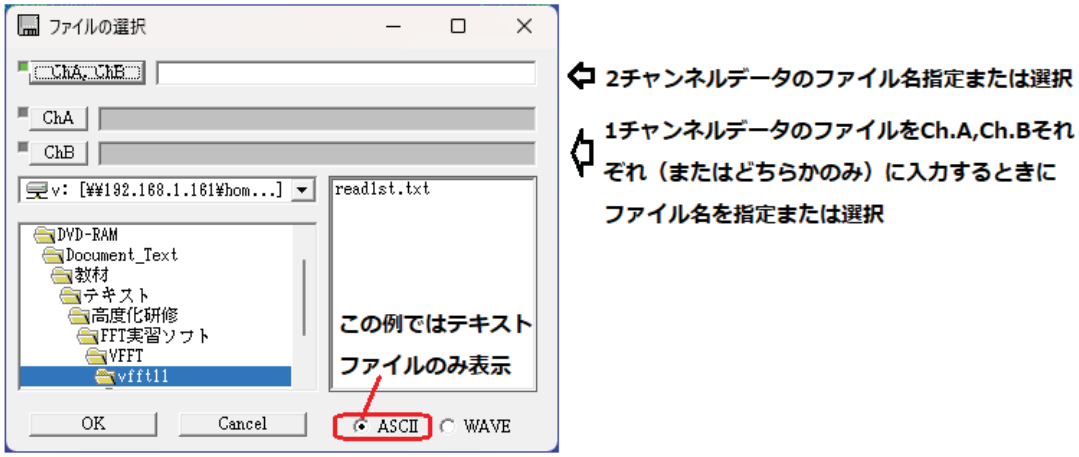
(2)外部データファイルを選択した場合

外部データの種類としては後述のように所定の書式のテキストデータと一般的な wav データ（ステレオ、モノラル）が利用可能です。ただしデータの点数が多い場合には取り込めるのは最初の 32768 点のみです。

2 チャンネルデータが収録されたテキストデータもしくはステレオの wav データの場合は、【ChA,ChB】を選択し、そこにファイル名を記述もしくはウィンドウから選択してください。もしモノラルの wave データを指定すると、ChB の入力は空白となります。

1 チャンネルデータが収録されたテキストデータもしくはモノラルの wav データの場合は、【ChA】または【ChB】のいずれを選択して入力してください。【ChA】と【ChB】にそ

れぞれ異なるデータを入力することも可能です。



なお、ファイル名一覧からファイルを選択する場合には、テキストデータであれば右下の・ASCII を、wave データであれば・WAVE をクリックしてください。

※Ver.1.3β では階層が深い場所にあるファイル（ルートから表示したファイル名が非常に長くなるファイル）については正しく取り込めません。また階層構造も正しく表示されません。

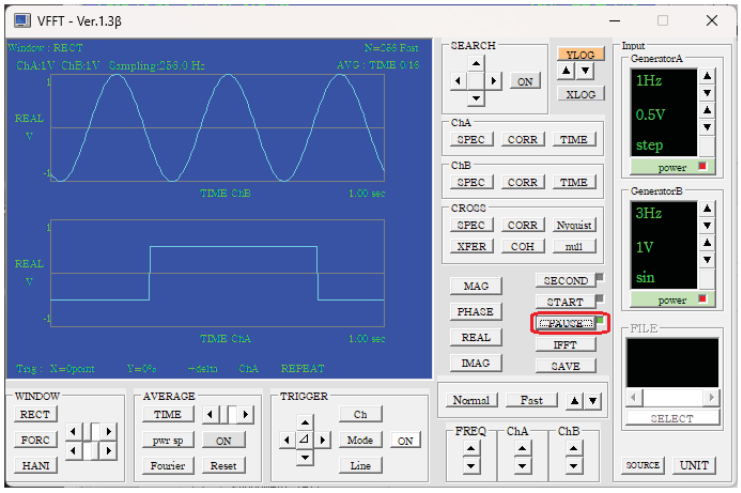
設定後に、入力する外部ファイルを変更する際には FILE ブロックの【SELECT】ボタンをクリックしてください。ファイル選択ウィンドウが開きます。

3. 3. 2　FFT シミュレータ部の操作

信号入力の設定が完了したら、画面表示の各種操作を行います。
機能ボタンの説明一覧は同梱の Manual.bmp も併せてご参照下さい。

(1)操作の概略イメージ

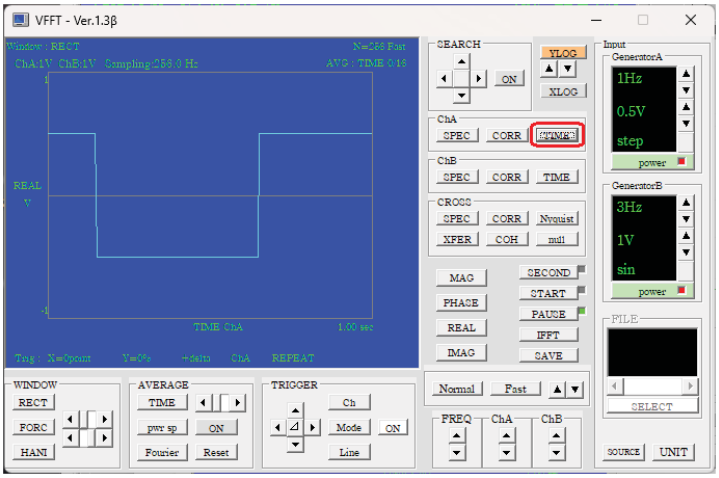
最初に操作の概略を把握するため、まずチャンネル A の入力時間波形のみ表示、次にチャンネル B の入力時間波形も併せて表示しスケールも変更するという操作例を示します。



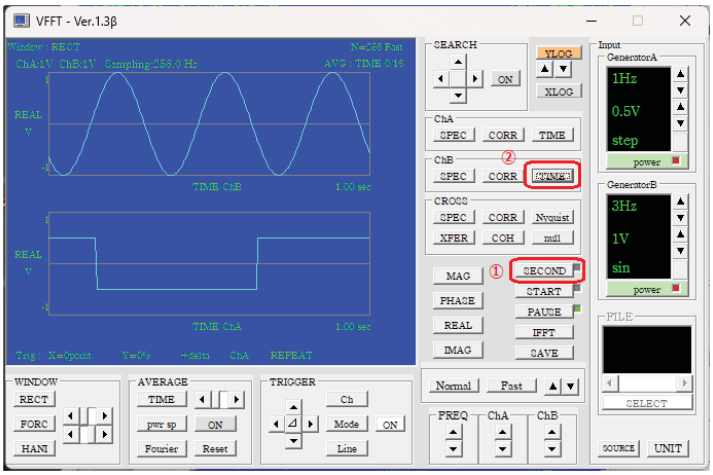
あらかじめ入力として内部ファンクションジェネレータの Generator A で周波数 1Hz, 振幅 0.5V の矩形波、Generator B で周波数 3Hz、振幅 1V の正弦波を設定しておきます。

画面下半分に Ch.A、上半分に Ch.B の時間波形がリアルタイムで表示されます。リア

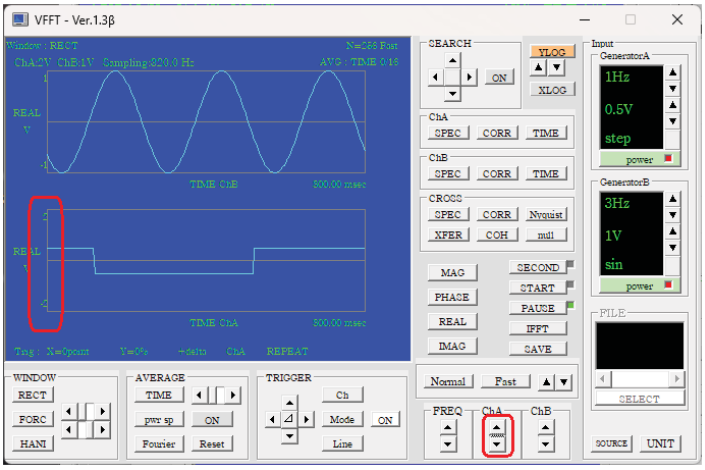
ルタイムから停止状態とするには【PAUSE】ボタンを押してください。【START】もしくはもう一度【PAUSE】ボタンを押すとリアルタイム表示となります。外部ファイルからデータ入力の場合には【START】を押すまで波形表示部にデータは表示されません。



ここでチャンネル A の【TIME】ボタンを押すとチャンネル A に入力されている信号だけの時間波形表示となります。同様にチャンネル B の【TIME】ボタンを押すとチャンネル B に入力されている信号だけの時間波形表示となります。



チャンネルAの時間波形だけが表示されている状態で【SECOND】→チャンネルBの【TIME】を押すと、チャンネル A の時間波形が下段、チャンネル B の時間波形が上段の二段表示となります。【SECOND】の後に指定したグラフが上段となります。

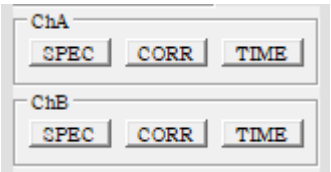


縦軸の表示レンジ（表示スケール）を変更するには右下の ChA,ChB の▲▼ボタンを押してください。それぞれの表示スケールが変化します。

横軸のスケールはリアルタイム表示中（【START】点灯中）に【FREQ】の▲▼ボタンを押すことで変化します。停止中（【PAUSE】点灯中）は変更できません。

(2)操作ボタン解説

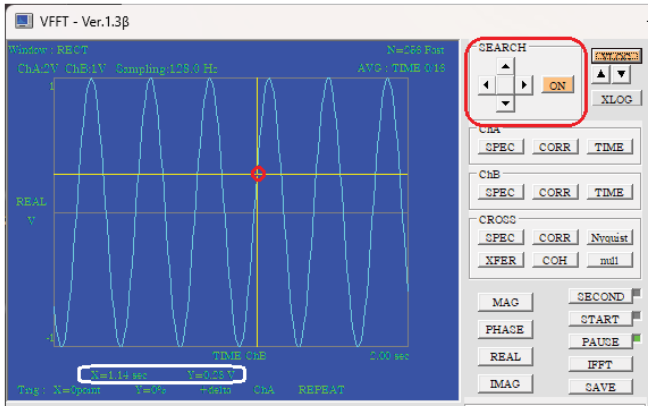
【SPEC】【CORR】【TIME】



それぞれのチャンネルに入力された信号をどのような形で表示するかを選択します。

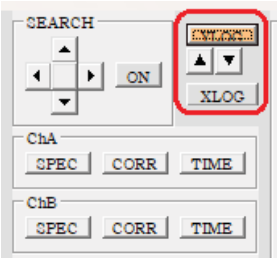
【SPEC】はスペクトラム（周波数分析）、【CORR】は自己相関関数、【TIME】は時間波形のグラフを表示します。

【SEARCH】



【SEARCH】を ON にするとグラフ上にカーソルが現れ、カーソル位置の X,Y 値がグラフ下部に表示されます。カーソル位置は矢印キーで上下左右に移動できます。

【YLOG】【XLOG】

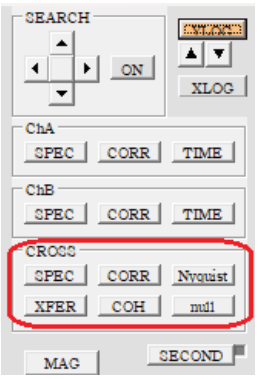


【YLOG】はグラフの縦軸を点灯時に対数、消灯時に線形表示します。

【XLOG】はグラフの横軸を点灯時に対数、消灯時に線形表示します。なお対数表示時にはさらにオクターブ解析表示も選択できます。

一部のグラフでのみ軸は対数表示可能です。

CROSSブロック 【CSPEC】【CORR】【Nyquist】【XFER】【COH】



いずれもチャンネル A、B の 2 つの信号に基づいて解析処理を行いその結果をグラフ表示します。

【CSPEC】はクロススペクトルを表示します。

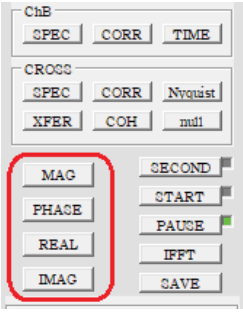
【CORR】チャンネル A を入力側、チャンネル B を出力側と考えたときの相互相関関数を表示します。

【XFER】はチャンネル A を入力側、チャンネル B を出力側と考えたときの伝達関数を表示します。

【Nyquist】は伝達関数をナイキスト線図で表示します。

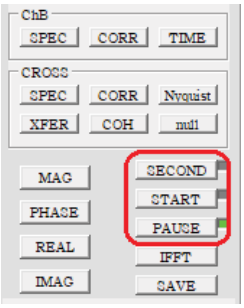
【COHH】は 2 チャンネル間のコヒーレンス関数を表示します。

【MAG】【PHASE】【REAL】【IMAG】



結果が複素数で得られる一部の解析処理において、その結果を絶対値（もしくはその二乗）【MAG】、実部と虚部の間の位相【PHASE】、実部の値【REAL】、虚部の値【IMAG】で表します。

【SECOND】【START】【PAUSE】



【SECOND】は次に表示させるグラフを画面の上半分に示します。グラフが一つしか表示されていないときには、現在のグラフが下半分、次のグラフが上半分に表示されます。すでに二つ表示されているときには上側のグラフが置換されます。

【START】はデータ入力を開始し、リアルタイム表示とします。外部ファイルからの入力では取り込んだ範囲のデータが繰り返し再生されます。

【PAUSE】はデータ入力を一時停止します。

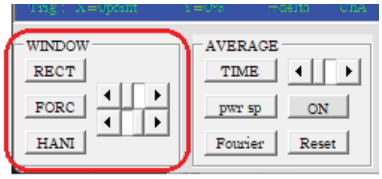
【IFFT】【SAVE】

FFT は入力時間波形を周波数分解するものですが、周波数分解したデータをもとに時間波形を再構成するのが逆高速フーリエ変換 IFFT で、周波数分析の信頼性が確認できます。

【IFFT】ボタンは画面にスペクトルまたは伝達関数が表示されている場合（グラフが二つ表示されているときは下半分に表示されているとき）のみ有効です。このボタンは演算をするだけなので、結果の表示は【TIME】ボタンを押してください。入力した波形と微妙に異なる波形が表示されます。

【SAVE】は画面の表示情報下半分が［Flame1］、上半分が［Flame2］であるとして、テキストファイルでディスクに書き出します。ファイル名を選択して保存してください。

WINDOW 【RECT】【FORCE】【HANI】

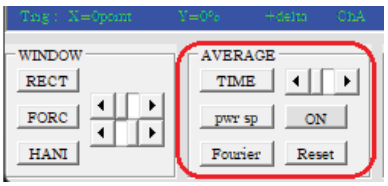


フーリエ解析処理では漏れ誤差と呼ばれる誤差を減少させるため、入力信号をあえてカットまたは歪ませる処理を行うことがあります（ウィンドウ処理）。

【RECT】は入力データを加工しません。【FORCE】は入力データの一定範囲のみ取り込みます。その範囲は右のスク

ロールボタンで調整します（画面にも範囲設定カーソルが現れます）。【HANI】はハニングウィンドウと呼ばれる、取り込みデータの始終点近傍を圧縮するデータ加工を行います。

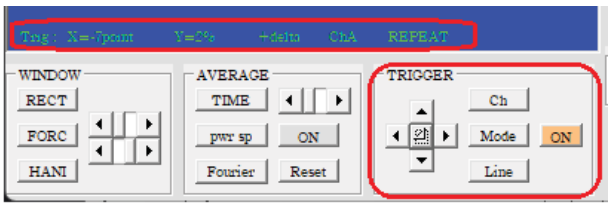
AVERAGE【TIME】【pwr sp】【Fourier】



偶然誤差を排除するための平均化処理ブロックです。スクロールボタンで平均化回数を指定し【ON】を押すと指定回数のデータ取り込み後に結果を表示します。【Reset】で平均化の結果をクリアします。

【TIME】は時間波形、【pwr sp】はパワースペクトル、【Fourier】はフーリエスペクトルの処理結果についてそれぞれ平均化処理を行います。

TRIGGER ブロック



正弦波をいつも山の頂点部分から取り込み表示するなど、特定の条件を満足した点からデータを取り込む（トリガーをかける）ときに指定します。

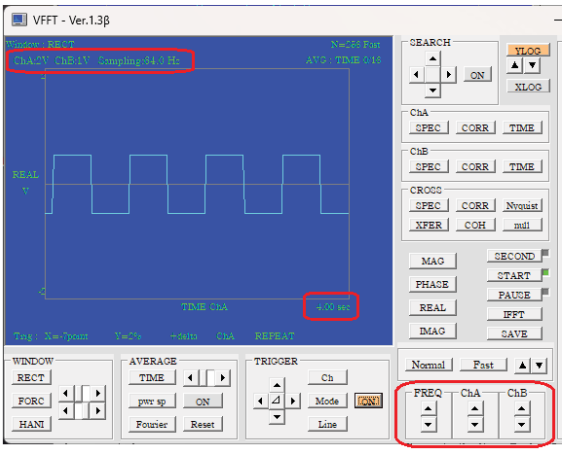
矢印キーで取り込み条件となる電圧と時間位置を設定します。またその条件にデータの値が上昇中（＋）か下降中（－）かの選択を⊿で行います。トリガー設定値はグラフ表示画面の下部に表示されます。

【Ch】でトリガーをかける信号入力チャンネルを選択します。

【Mode】でトリガーのモードを［REPEAT］（連続してトリガーをかけ、条件を満足するごとに再描画する）、［SINGLE］（トリガー条件を満足したときに１回だけデータを取り込む）、［ONEshot］（トリガー条件を満足した後、トリガーがかかっていない状態となる）に切り替えます。

【Line】でトリガーをかける位置の目安となるカーソルを表示します。

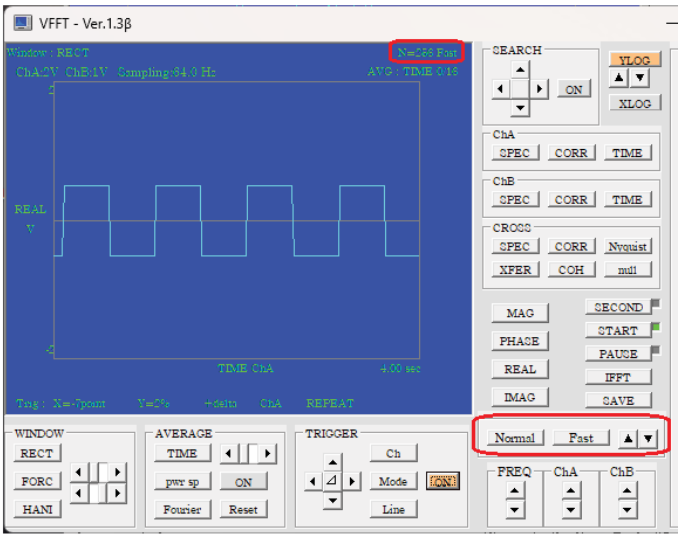
感度・軸スケール設定ブロック



【FREQ】データの取り込み間隔（サンプリング周波数）を変化させます。フーリエ変換のアルゴリズム上、サンプリング周波数を高くすると周波数解析可能な上限周波数は上昇しますが周波数分解能は低下します。また取り込むデータの時間範囲も減少します（時間軸の上限が低下します）。リアルタイム表示中のみ操作可能です。画面にはサンプリング周波数が表示されています。

［ChA］［ChB］の下の▲▼ボタンでそれぞれのチャンネルの感度を調整できます。

特殊機能設定ブロック



FFT の特徴を理解するための特殊ボタンのブロックです。通常の FFT アナライザにはありません。

【Fast】はフーリエ変換を、対象データ点数が 2 の n 乗の場合のみ適用できる FFT（fast Fourier transform、高速フーリエ変換）アルゴリズムで行います。

【Normal】はデータ点数の制約を受けない通常の離散フーリエ変換を行います。

処理時間は【Fast】の方がはるかに速いのですが、近年の CPU の処理能力では単純なデータでは体感的な違いは見られません。

▲▼ボタンは解析データ点数で、増加させると取り込み時間内のデータ点数が増加（データの取り込み間隔が短くなる）します。これにより周波数分解能が改善します。

3.4　入力用外部データファイルの構造

(1)　テキストデータ

ファイルの内容は最初の数行がタイトル（タイトルとして半角数字だけからなる文字列は使えません、タイトルはなくても構いません）で、このタイトルは VFFT の画面にデータ名として表示されます。半角数字だけからなる最初の行がサンプリング周波数（Hz)、その次の行以降に A チャンネル、B チャンネルの電圧データをカンマ区切りで並べます。もし A，B いずれのチャンネルにしか入力しない場合には電圧データは各行に一つずつとなります。本ソフトではデータの終わりまで読み出すとデータの最初に戻ってエンドレスに再生します。点数を指定する必要はありませんが、データの点数が 32768 点以上の場合には 32768 点を読み込みエンドレスに再生します。

//で始まる行は注釈行でデータとは見なしません。

＜データの構造例＞

歯車の振動　　…タイトル

//これはサンプル　…注釈行

3000　　…各データの間の時間間隔が 3KHz であることを示す。

0.001,0.023　　…時刻０のＡチャンネルの電圧　0.001、Ｂチャンネルの電圧　0.023

0.003,0.092　　…時刻 1/3000 のＡチャンネルの電圧　0.003、Ｂチャンネルの電圧　0.092

0.004,0.099　　…時刻 2/3000 のＡチャンネルの電圧　0.004、Ｂチャンネルの電圧　0.099

……

(2)　Wave データ

既存の Wave 形式のデータはそのまま読み込めます。

また計測データがオーディオ入力端子から入力可能な場合には、そのデータをいったんファイルとして保存し、それを呼び出す形で FFT の各種処理ができます。

【オーディオ入力端子使用上の注意】

・端子への信号入力の際は波形が歪まないようレベルを調整して下さい。また PC の特性やレベルの設定によって、取り込まれたデータは入力電圧を定数倍したものとなっていることにご注意下さい。

・オーディオ入力はその性質上、可聴周波数領域を対象としていますので一般に 50Hz～20kHz 程度の範囲でしか線形性がありません。PC によってはこの範囲でも線形性が保証されないこともありますので精度が必要な場合にはあらかじめ確認して下さい。

・左右のサウンド入力を完全に分離できないシステムでは２チャンネルＦＦＴとしては使用できません。

・音以外の信号（加速度信号など）を入力の際は、音としてのモニタリングはしないで下さい。またこのようにして取り込んだデータファイルは音としての再生はしないで下さい。スピーカーなどに悪い影響を与え破損させる恐れがあります。万一、破損しても著作者は責任を負いかねます。

4. 本プログラム作成の根拠とした理論

4.1　フーリエ変換について

時間関数$x(t)$のフーリエ変換対として次式の考え方を基本としています。

$$\mathrm{X}(f) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\exp(-2\pi f t j)\,dt \qquad (1.1)$$

$$x(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} \mathrm{X}(f)\exp(2\pi f t j) \qquad (1.2)$$

T：周期，f：周波数（$=k/T$）　k は整数

この理論式では振幅２Ｖ、角振動数ωの正弦波　$2\sin\omega t$ は　$-\sin(-\omega t)+\sin\omega t$

のように表され、角振動数（－ω）の成分が－１Ｖ、（ω）の成分が１Ｖとして扱われます。

プログラム上では次の条件の下で数値積分（長方形近似）によって時間関数 *x(t)*のフーリエスペクトル *X(f)*を *k*=0～100　(*f*=0～100/*T* Hz)までの範囲で計算しています。

Ⅰ　時間軸の幅を時間関数 *x(t)*の周期 *T*とする。

Ⅱ　時間軸のサンプリング点数Ｐ＝256 点（または 512 点、1024 点）

※市販のＦＦＴアナライザの多くはサンプリング点数 1024 点、k=0～400 です。

4.2　各種スペクトルの計算

(1)振幅スペクトル実部、振幅スペクトル虚部、位相スペクトル

（チャンネル A,B のそれぞれを ChA(ChB)_SPEC_REAL、IMAG、PHASE と表す）

プログラム上では複素数を用いず、次の計算式を利用して実数領域で行っています。

式(1.1)を展開すると

$$\mathrm{X}(f) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\cos(2\pi f t)\,dt - \frac{j}{T}\int_0^T x(t)\sin(2\pi f t)\,dt$$

ここで　$\mathrm{X}(f) = a(f) - jb(f)$とおくと

$$a(f) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\cos(2\pi f t)\,dt$$

$$b(f) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\sin(2\pi f t)\,dt$$

となります。

プログラム上では

振幅スペクトル実部(ChA(ChB)_SPEC_REAL　)を　$a(f)$ [V]

振幅スペクトル虚部(ChA(ChB)_SPEC_IMAG　)を　$-b(f)$ [V]

位相スペクトル(ChA(ChB)_SPEC_PHASE)を　$\tan^{-1}\frac{-b(f)}{a(f)}$ [deg]

として計算、表示しています。

なお、FFT（高速フーリエ変換）では上記のアルゴリズムに加え、計算点数が 2^n であることを利用して、重複する演算の置き換え高速化を図っています。

(2)パワースペクトル（チャンネル A,B のそれぞれを ChA(ChB)_SPEC_MAG と表す ）

時間関数 *x(t)*のパワースペクトル $W_{XX}(f)$は次式で定義されます。

$$W_{xx}(f) = X(f)' \times X(f) = \big(a(f) + jb(f)\big)\big(f(f) - jb(f)\big) = a(f) * a(f) + b(f) * b(f)$$

（'は共役復素数を示す）

プログラム上では複素数を用いずに次のように実数領域で演算処理しています。

パワースペクトル(ChA(ChB)_SPEC_MAG)＝$a(f) * a(f) + b(f) * b(f)$　[V²]

（　YLOG 表示では　$10\log_{10}(a(f) * a(f) + b(f) * b(f))$　[dBV²]　）

(2) クロススペクトル

時間関数 $x_0(t), x_1(t)$のフーリエスペクトルをそれぞれ$X_0(f), X_1(f)$とするとクロススペクトル　$W_{x_0x_1}(f)$　は次式で定義されます。

$$W_{x_0x_1} = X_0(f)' * X_1(f) = \left(a_0(f) - jb_0(f)\right) * \left(a_1(f) + jb_1(f)\right)$$
$$= a_0(f) * a_1(f) + b_0(f) * b_1(f) + j\left(a_0(f) * b_1(f) - a_1(f) * b_0(f)\right)$$

ここで

$$\alpha(f) = a_0(f) * a_1(f) + b_0(f) * b_1(f),\ \beta(f) = a_0(f) * b_1(f) - a_1(f) * b_0(f)$$

とおけば

$$W_{x_0x_1}(f) = \alpha(f) - j\beta(f)$$

プログラム上では ChA、ChB のフーリエスペクトルをそれぞれ$X_0(f), X_1(f)$としてクロススペクトルの振幅 CROSS_SPEC_MAG を以下のように実数領域で求めています。

CROSS_SPEC_MAG=$\sqrt{\alpha(f) * \alpha(f) + \beta(f) * \beta(f)}$　　[V²]

（　YLOG 表示では　$10\log_{10}\sqrt{(\alpha(f) * \alpha(f) + \beta(f) * \beta(f)}$　　[dBV²]　）

さらにプログラムでは、その位相、実部、虚部を次のように求めています。

クロススペクトルの位相 CROSS_SPEC_PHASE を $\tan^{-1}\frac{-\beta(f)}{\alpha(f)}$　　[deg]

クロススペクトル実部 CROSS_SPEC_REAL を　$\alpha(f)$

クロススペクトル虚部 CROSS_SPEC_IMAG を　$-\beta(f)$

4.2　伝達関数の計算

時間関数 $x_0(t), x_1(t)$のフーリエスペクトルをそれぞれ$X_0(f), X_1(f)$とすると伝達関数$H(f)$は次式で定義されます。

$H(f) = W_{x_0x_1}(f)/W_{x_0x_0}(f)$（$W_{x_0x_0}$：時間関数$x_0(t)$のパワースペクトル）

プログラム上では伝達関数の振幅、位相、実部、虚部を以下の式を用いて求めています。

伝達関数の振幅 CROSS_XFER_MAG

$$\sqrt{(\alpha(f) * \alpha(f) + \beta(f) * \beta(f))/(a_0(f) * a_0(f) + b_0(f) * b_0(f))}$$

（YLOG 表示では$10\log_{10}(\alpha(f) * \alpha(f) + \beta(f) * \beta(f))/(a_0(f) * a_0(f) + b_0(f) * b_0(f))$［dB］

伝達関数の位相 CROSS_XFER_PHASE

$$\tan^{-1}\frac{-\beta(f)}{\alpha(f)}\qquad [\mathrm{deg}]$$

伝達関数の実部 CROSS_XFER_REAL

$$\alpha(f)/(a_0(f) * a_0(f) + b_0(f) * b_0(f))$$

伝達関数の虚部 CROSS_XFER_IMAG

$$-\beta(f)/(a_0(f) * a_0(f) + b_0(f) * b_0(f))$$

5. 転載・配布・保証について

本ソフトはいわゆるフリーソフトですが、転載・配布に関して次の条件を遵守して下さい。

商業用途の転載・配布の場合、必ず下記に連絡し著作権者の了解を得て下さい。
教育用途の転載・配布の場合、著作権者の了解は不要です。ご自由にお使いください。
内容については細心の注意を払ってはいますが、このソフトを使用した結果についていかなる保証も致しかねます。また内容の誤りについて具体的にご指摘をいただければ修正の努力はいたしますが、その義務は負いかねます。
著作権は留保し、無断改変はお断りします。

連絡先：飯田　裕

email: iida@uitec.ac.jp

6. 更新履歴

1997.9.9　Ver.1.0

1997.9.29 Ver.1.03

・相互相関関数訂正、高速化。平均化中に平均化回数を減少させた場合に生じた問題を解決

1997.11.5 Ver.1.1

・サウンド入力端子から取り込んだデータの解析機能を付加。

・解析結果のファイルへの保存機能追加。

2009.7.15 Ver.1.3

・オクターブ解析表示機能追加

・Windows7 対応