LabVIEW による波形生成参考プログラム

(最終改訂 2018/05/17)

書庫ファイル内容

LV_Wave.zip には本解説ファイル(LV_Wave.pdf)、LabVIEW による波形生成参考プログラム LV_Wave.vi の LabVIEW2013 版実行プログラム(2017 版とはソースレベルの互換性に問題があるため実行プログラムのみとしており、実行には LabVIEW2013 版ランタイムエンジンが必要: p.13 備考 参照)とサンプルファイル(数式文字列、データ)が含まれている。同名の設定ファイル(拡張子.ini)および実行時ライブラリ(lvanlys.dll、WaveIO.dll:サウンド出力では LabVIEW の lvsound2.dll ライブラリではなく C. Zeitnitz 氏による WaveIO.dll を使用: https://www.zeitnitz.eu/scms/waveio)を格納した同梱の data フォルダを同じ場所に置いて実行する。

LV_Wave.vi について

efu 氏作成の波形生成フリーウェア WaveGene は充実した機能と高い精度によりスペクトラムアナライザ WaveSpectra と共に大学の学生実験の定番ソフトウェアとなっているが、WaveSpectra の現在の版では WASAPI ループバックを入力できないため PC のアンプを介さない正確なスペクトラムを実時間で観測するためにはループバック機能のあるオーディオインタフェースを別に用意する必要がある。

LV_Wave.vi は、パラメータ(数式文字列による波形指定を含む)を設定して signal A、signal B の 2 系統の信号を生成し、両信号またはその和、差、積を Left、Right に割当て、波形、スペクトラム、 XY の各グラフに表示し既定のサウンドデバイスに出力するもので、例えば高速スイープ信号にフィルタを掛け、フィルタの種類と次数の設定による特性の違いを目と耳で確認することができる(pp. 8-12 図 8-14 参照)。WaveGene で可能なフィルタ特性の自由設定、音声データの wav ファイル保存等の機能は割愛しており、また複雑な波形の長時間の音声データの生成は MATLAB 等のプログラムに譲る。

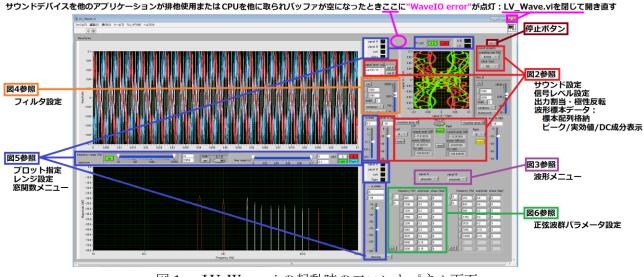


図1 LV_Wave,vi の起動時のフロントパネル画面

図 1 に LV_Wave.vi の起動時のフロントパネル画面と各設定の説明図への参照を示す。左上段に波形グラフ、左下段にスペクトラムグラフ、右上に XY グラフを表示し、XY グラフの両脇と下に設定制御器を配置している。XY グラフではオシロスコープの慣例 ($Ch.1 \,$ e Y、 $Ch.2 \,$ e X) に従い、Y に signal A、Left を割当てる (WaveSpectra のリサジュー画面と同じ)。

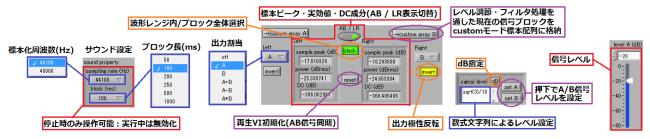


図2 設定パネル:サウンド(左)、出力(中)、レベル(右)

図 2 にサウンド、出力の設定項目を示す。LV_Wave.vi は<mark>停止状態で開き</mark>、標本化周波数(44100Hz 【起動時既定】/48000Hz)とブロック長(50ms/100ms【起動時既定】/200ms/250ms/500ms/1000ms:註 1 参照)を選択するフロントパネル右上のサウンド設定パネル(図 2 左)は**実行中は無効化**される。 左右のチャンネルへの出力は、メニューリングで signal A、signal B の 2 つの信号から off / A【Left 起動時既定】/ B【Right 起動時既定】/ A+B / A-B / A*B を選択し、極性を反転する場合はメニューリング下の"invert"ボタン(起動時既定は Left: OFF、Right: ON)を ON にする(図 2 中)。

signal A、signal B 両信号のレベルは、数値スライドによる設定の他、"signal level"で数式文字列 (起動時既定は一様雑音の実効値を正規雑音、M 系列と揃える用途の sqrt(3)/10) で指定して"set A"、"set B"を押下して設定することができる(図 2 右)。

註 1: 生成信号を WaveIO 出力バッファに満たして音が出るまでにはブロック長に比例した時間を要する。ブロック長 1000ms の項目は、sinusoids モード(p.4 後述)で正弦波群の周波数を 1Hz 単位で指定する目的のために加えている。

図 3 に波形メニュー (noise etc. / pattern / sinusoids 【AB 起動時既定】/ formula / custom を選択)、 DTMF 信号パネル、pattern モードのパラメータの設定パネルを示す。

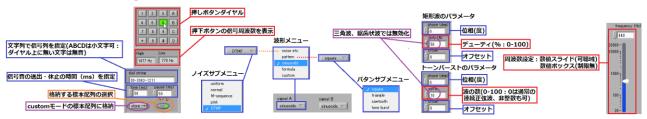


図 3 DTMF 信号パネル(左)、波形メニュー(中)、pattern パラメータ設定パネル(右)

noise etc.モード【2018/04/22 仕様改訂】には、生成信号の周波数設定数値スライドは無く、4 種の雑音(uniform / normal【B 起動時既定】/ M-sequence / pink)では数式文字列によるフィルタ遮断周波数設定パネル(p.3 図 4;【2018/04/28 機能追加】)、DTMF【A 起動時既定】では DTMF 信号パネル(図3 左)を表示する。DTMF 信号パネル上部には押しボタンダイヤル(ON 時の色は通常の電話機ボタンが緑、スーパバイザトーン(A~D)がマゼンタ)と生成音の周波数表示器、下部には custom モードの標本配列(p.6 後述)に格納する信号列生成の制御器(註 2 参照)を表示する。周波数高群と低群のレベル差は欧州規格に合せて 2dB(国内規格では 0dB 以上)としているが、実時間生成信号では端の処理をしていない(終端で標本値が 0 ではなく不連続)。

註 2: ダイヤル押下時のみ生成される DTMF 信号は、ボタン押下操作の必要な標本配列への格納ができないため、信号送出(tone)、休止(pause)の時間を指定して、文字列で指定した信号列(起動時既定は signal A が新宿校舎、signal B が八王子校舎の代表番号)を"store →"を押下して格納(起動時既定の格納先は他信号の標本配列で他信号を custom モードにすれば押下と同時に再生)する。ITU-T Recommendation では tone、pause の時間をそれぞれ 65ms~1000ms としているが、各国の電話事業者は 65ms よりも短い値を許容しており(事業用電気通信設備規則では、tone/pause/tone+pause の最小値(ms)を 50/30/120 と定めているが、NTT は 40/30/120 を採用)、本 VI では tone/pause の入力最

小値を実際の製品のデコード速度に沿った 20 (起動時既定は既定ブロック長 100ms での観測が容易な 50) としている。演算時間の制約が無い格納用信号では規格通りに両端各 5ms で端を処理している。

pattern モード【2018/04/24 仕様改訂】(square【A 起動時既定】/ triangle / sawtooth【B 起動時既定】/ tone burst を選択)では、帯域制限されていない幾何学的な波形(WaveGene の「帯域:なし」と同様、折り返し雑音を含む)と正弦波トーンバースト(波の数に 0 を指定すると通常の連続正弦波)を生成し、周波数設定数値スライド(数値ボックス併設【起動時既定 440Hz】)と位相、オフセット等(矩形波では duty、トーンバーストでは cycle)の設定パネルを表示する(p.2 図 3 右)。数値スライドのスケールは可聴域に制限されているが、数値ボックスへの入力値はスケールの範囲に制限されない(本 VI の周波数設定制御器に共通)。

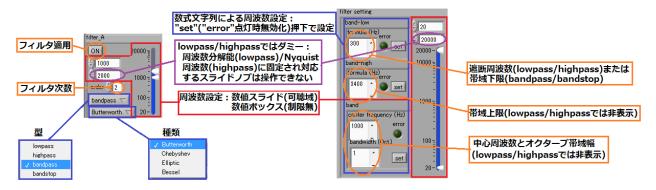


図 4 フィルタ設定パネル:メインパネル(左)、noise etc.モード[DTMF以外](右)

フィルタのパラメータは、フロントパネル XY グラフ両脇のフィルタ設定パネル(図 4 左)で signal A、signal B 独立にそれぞれ型(lowpass / highpass / bandpass 【起動時既定】/ bandstop)、種類(Butterworth 【起動時既定】/ Chebyshev / Elliptic / Bessel)、次数(1 以上の整数:起動時既定は 2)を指定し、周波数についてはこのパネルまたは noise etc.モードで DTMF 以外を選択した場合に表示される周波数設定パネル(図 4 右)を用いて設定する。

後者では、数式文字列により両端の周波数指定【起動時既定は signal A が通常電話、signal B が高音質電話の帯域】に加えて、中心周波数【起動時既定 1kHz】と幅【起動時既定は signal A:1 oct.、signal B:1/3 oct.】による帯域指定が可能で、スペクトラムグラフの周波数レンジ(p.4 図 5 左上)を数式で指定できる。数式の評価値が零以下または Nyquist 周波数以上となる場合は"error"を点灯し、設定のset ボタンは無効化される。

フィルタの型が lowpass / highpass の場合、両パネル共、数値スライドのボックス下段の値はダミー (註参照) となり値を設定することはできない。数式を入力する文字列制御器では、帯域上限と幅指定 が非表示となり、帯域下限の表記が"band-low"から"cutoff"に変る。

註:LabVIEW では複数ノブ数値スライドの一部のノブのみを非表示(または無効化)とすることはできない(ノブの個数を変えた場合にも属性が変化する)ため、lowpass ではブロック長の逆数、highpassでは Nyquist 周波数に強制してノブをスケール端に固定している(ダミー値はフィルタ VI には渡されない)。2個のノブが縮退して操作できない場合は上段の数値ボックスに直接入力するかまたは数値スライドを右クリックして「デフォルト値に再度初期化」をクリックして縮退を解く。

表示グラフのレンジ(p.4 図 5 左)は、波形グラフでは振幅(XY グラフ連動)と時間(XY グラフの表示対象は液形グラフ時間レンジ内の標本に限定)、スペクトラムグラフではパワーと周波数をそれぞれ数値スライドで設定する。時間レンジは custom モード時間領域編集の [t0, t1)(設定は"set t-range"の押下: p.6 図 7 後述)、周波数レンジは noise etc.モード[DTMF 以外]のフィルタ周波数設定パネル(図 4:設定は周波数レンジ設定スライド右の"get"を押下)でそれぞれ数式文字列で指定することができる。

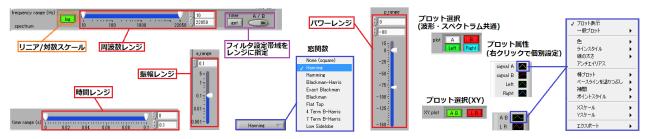


図 5 グラフレンジ、スペクトラム窓関数、プロットの設定パネル

プロット優先順位は波形とスペクトラムグラフでは signal A(白)、signal B(赤)、Left(緑)、Right(青)、XY グラフでは AB(緑)、LR(赤)の順である。 **重なって隠れた優先順の低い**プロットを表示するにはプロット選択の押しボタン SW(波形グラフとスペクトラムグラフでは両グラフの間、XY グラフではグラフ上:註1参照)で隠しているプロットを非表示にする。プロットの色、線の種類等は各グラフでプロット属性を設定するプロット凡例右端のボックスを右クリックして変更できるがプロット選択ボタンの色は変更できない(図 5 右)。

註1:波形、スペクトラム両グラフのプロットを連動して切替えるため、および操作を統一するため、 XY グラフを含めた各グラフのプロット凡例には表示 ON/OFF のチェックボックスを表示していない。



図 6 sinusoids モード設定パネル EDIT OFF (左) ON (中)、formula モード設定パネル (右)

sinusoids モード【AB 起動時既定】では、ブロック長の逆数(20Hz/10Hz/5Hz/4Hz/2Hz/1Hz:スペクトラム周波数分解能に同じ)の整数倍の周波数の正弦波を CPU 能力の範囲で任意本数生成する(図6左、中)。指定された周波数にブロック長の逆数の整数倍ではないものが含まれる場合、設定パネルの下に"Frequencies should be multiples of xx(Hz)."のメッセージ(xx はブロック長の逆数)を表示する。

押しボタン SW "EDIT" 【起動時既定 OFF】OFF では 2D 配列の数値制御器が表示され、周波数、振幅、位相(度単位)を個別に設定できる(既定の内容は signal A が純正律長調の三和音(周波数比 4:5:6)、signal B がオクターブ重畳)。"EDIT" ON では周波数、振幅、位相(度単位)をそれぞれ数式文字列(変数 x は各正弦波の指標を示す)で一括して記述し(既定は WaveGene の「帯域制限」で「加算」を指定した波形と同じ Fourier 級数による合成で、signal A が 220Hz 矩形波、signal B がこれとスペクトラムが重ならない 440Hz 三角波)項数を指定して"DONE"の押下で設定する。

数式文字列は周波数、振幅、位相の数式 3 行のテキストファイルとして"SAVE"、"LOAD"の押下で保存(既定ファイル名は TOD 文字列"yyyymmddHHMMSS"に"_sc.txt"を連結したもの: sc は sine component)、読込み(プロンプトのファイルパタンは "* sc.txt")ができる(註 2 参照)。

註 2: ファイル IO の VI プロパティで自動エラー処理のチェックを外しており、ファイルの読み書きのプロンプトをキャンセルしてもエラーとはならないが、読込みをキャンセルした場合、現在の数式文字列はクリアされる。各行で"%"以降の文字列を除いて数式文字列評価 VI に渡すので注釈を記述できる(本 VI でファイル入出力ができる数式に共通)。

formula モードでは、t(秒単位の時間)、w(角周波数)、a(振幅)の変数 3 個が予約された数式文字列とw、a を入力する LabVIEW ライブラリの波形生成 VI を使用して波形標本を生成する。周波数入力数値スライドの表記が pattern モードの"frequency (Hz)"から"w / 2π "に変更され、a を入力する数値スライド(表記は"parameter a")が追加されている(p.4 図 6 右)。起動時既定の数式は、角周波数 a の正弦波による角周波数 w の正弦波の変調(変調指数 0.3 で signal A が周波数変調、signal B が振幅変調)である。押しボタン SW "auto reset" 【起動時既定 OFF: 既定の波形で搬送波および変調信号の周波数をブロック長の逆数の整数倍ではない値に変更したとき ONではブロックの境界で波形データが不連続になりクリック音が入る】を ON にすると毎ブロックの先頭で t を 0 に初期化する。

数式中の \mathbf{w} は波形生成 \mathbf{VI} の周波数端子に入力(註参照)された \mathbf{ie} の $\mathbf{2}\pi$ 倍、 \mathbf{a} は振幅端子に入力された \mathbf{ie} 19が使用されるため、式中で \mathbf{a} 2 を振幅ではなく角周波数として用い数値スライドで周波数を設定する場合には、押しボタン \mathbf{SW} 2 \mathbf{x} 7011を \mathbf{v} 12011を \mathbf{v} 3011の、 \mathbf{v} 4011を \mathbf{v} 5011の。

w、a は数値スライド(数値ボックス併設)による設定の他、変数無しの数式文字列で記述してそれぞれ"set w"、"set a"(押しボタン SW"w/a"で切替)の押下で設定することができる(a の値は"* 2π "の真理値を反映して"set a"の押下で記述通りの値が波形生成 VI に渡されるが、"set a"を押下して値を渡した後に"* 2π "の ON/OFF を変更しないこと)。

註:数式中の三角関数の引数にwが現れるとき(w*tの形でなくw単独であっても)波形生成 VI の周波数端子に Nyquist 周波数を超える(「等しい」場合は可)値が入力された場合はエラーとなる(本 VI では自動エラー処理のチェックを外しており停止はしないが波形は生成されない)。Nyquist 周波数を超える正弦波が折り返す様子を見るには、 $w/2\pi$ が Nyquist 周波数を超えない様に(簡単な順で) sin(a*t)、sin(4*w*t)、 $sin(w*t)^2-.5$ 等として生成すればよい。

数式文字列(noise etc.モードのフィルタ周波数設定、sinusoids モードの EDIT、formula モード、次項の custom モードの数式文字列に共通)で使用できる関数は、例えば次の URL にリストがある。http://www.mathmachines.net/Construction/SSSP/LabVIEWFormulaStrings.pdf

数式文字列は"SAVE"の押下でテキストファイルとして保存(既定ファイル名は TOD 文字列に"_wg.txt"を連結したもの: wg は wave generator)、"LOAD"の押下で読込み(対象は波形生成数式 1 行のみまたは w、a の記述をこの順で追加した $2\sim3$ 行のテキストファイル: プロンプトのファイルパタンは "*_wg.txt")ができ、以下のサンプルテキストファイルを同梱している。w、a を含むテキストでは読込み後に"set w"、"set a"(押しボタン SW"w/a"で切替)を押下してパラメータを設定する。

- \star AM_wg.txt:変調指数 0.3 の振幅変調、signal B 既定(波形生成数式 1 行のみ:ブロック長は任意で、"auto reset"OFF で実行)
- **★ FM_wg.txt**:変調指数 0.3 の周波数変調、signal A 既定(波形生成数式 1 行のみ:ブロック長は任意で、"auto reset"OFF で実行)
- ★ fastsweep_200ms_wg.txt: 20Hz~20kHz を 200ms で指数関数スイープ(波形生成、w(周波数比の自然対数÷スイープ時間)、a($2\pi \times$ 始端周波数÷w)指定の 3 行:ブロック長 200ms、"autoreset"ON で実行。w、a の意味は指数関数スイープの式 4 本に共通。p.8 図 8、p.9 図 10 参照)
- ★ fastsweep_250ms_wg.txt:前項に 50ms の無音区間を付加(波形生成、w、a 指定の 3 行:ブロック長 250ms、"auto reset"ON で実行。p.8 図 9 参照)
- ★ fastsweep_250ms_boost_wg.txt:前項の第 1 波のみを 2dB ブースト(波形生成、w、a 指定の 3 行:ブロック長 250ms、"auto reset"ON で実行。p.10 図 11 参照)
- * $slowsweep_wg.txt: 5Hz\sim22.05kHz$ を 5s/oct.で指数関数スイープ(波形生成、w、a 指定の 3 行:標本化周波数 48000Hz で終端周波数を 24kHz として実行する場合は、波形生成式中の始端周波数 との比 4410 を 4800 に修正する。ブロック長は任意で、"auto reset"OFF で実行。p.11 図 12 参照)
- ★ linearsweep_200ms_wg.txt: 20Hz~20kHz を 200ms で線形スイープ(波形生成、w($2\pi \times$ 始端周波数)、a($\pi \times$ (終端周波数-始端周波数)÷スイープ時間)指定の 3 行: ブロック長 200ms、"auto reset"ON で実行)

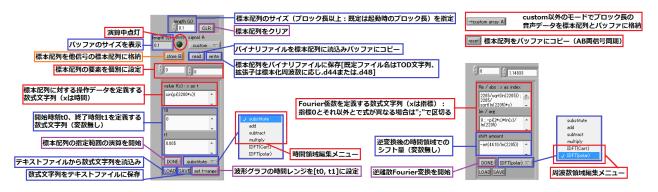


図 7 custom モード設定パネル:時間領域編集(左)、周波数領域編集(右)

custom モード【2018/04/20 仕様改訂】では再生時に実時間で標本を生成する他のモードとは異なり、標本配列(起動時既定はブロック長の無音データ)を編集してこれを再生バッファにコピーして(標本配列がブロック長を超える場合はブロック長ずつ回転シフトして)再生する。標本配列には他モードの音声データ(再生中のブロック長データで、レベル調整およびフィルタ処理を通した結果を格納)、**DTMF**信号列の音声データおよび他信号の標本配列(データまたは配列の内容を**そのまま**格納)、**DBL**型バイナリファイルの内容を格納できる。

formula モードとは異なり、変数が x に固定された通常の数式文字列評価 VI を用い(註参照)、時間 領域(x は時間変数:図7左)または周波数領域【2018/05/17機能追加】(x は Fourier 係数の指標:図7右)で行う。数式文字列による編集では配列要素は"DONE"の押下で書換えられ同時に再生バッファ に送られるが、配列制御器による配列要素の個別設定では、設定で変更された標本配列の内容は"reset"の押下で再生バッファに送られる。

註:LabVIEW の VI 実行では音声データの再生を優先するため、再生に直結しない優先度の低い演算には時間を要し、"busy"LED の点灯で標本配列の演算処理中であることを示す。

数式文字列は、"SAVE"、"LOAD"でテキストファイルへの保存(既定ファイル名は TOD 文字列に"_cf.txt"を連結したもの: cf は custom formula)、読込み(プロンプトのファイルパタンは"*_cf.txt")ができ、標本配列の内容は、"write"、"read"でバイナリファイルへの保存(既定ファイル名は TOD 文字列に実行中の標本化周波数に応じ".d44"または".d48"を連結したもの)、読込み(プロンプトのファイルパタンは実行中の標本化周波数に応じ"*.d44"または"*.d48":要素が起動時のブロック長に不足する場合は 0 を補う)ができる。

時間領域での編集ではブロック長を超える標本配列を扱うことができ、変数付数式 (表記"value f(x): x as t")で波形データ、変数無し数式 (表記"t0"、"t1")で区間[t0, t1)を指定する。編集メニューは substitute、add、subtract、multiply の 4 種類で、波形データを区間内の標本配列要素に対しそれぞれ置き換え、加算、減算、乗算の操作を行う (区間外の配列要素は不変)。t0、t1 の式は"set trange" (周波数領域の編集メニューでは非表示)の押下で波形グラフの時間レンジの設定に使用することもできる (実行例は p.9 図 10 参照)。標本配列の区分編集を繰返すことで原理的にはどの様に複雑な波形も構成できるが、実際には MATLAB プログラムまたは波形編集ソフトウェア (精度のよいフリーウェアでは Audacity、VST プラグインを使用するならば精度を犠牲にして Wavosaur)を使用するのが得策である。同梱の NHK_time_signal.d44 は、NHK ラジオ放送の時報音に 4s の無音区間を含めた 10s の標本化周波数 44.1kHz のデータで、編集メニュー"substitute"の以下の操作で作成したものである。①サイズ (表記 "length (s)") 10 を指定して CLR を押下【標本配列の確保・初期化】、②波形にsin(pi(880*x))、区間に[0,0.1)、[1,1.1)、[2,2.1)を順次指定して"DONE"を押下【0.1s の 440Hz 正弦波 3 個 (予告音)生成】、③波形に sin(pi(1760*x))、区間に[3,5)を指定して"DONE"を押下【2s の 880Hz 正弦波(正時音)生成】、④波形に sin(pi(1760*x))*(6-x)、区間に[5,6)を指定して"DONE"を押下【工時音リニア減衰部分生成】、⑤"write"を押下してファイル名を指定して保存。

以下の同梱テキストファイルは時間領域編集の例でサイズ 1 を指定して CLR を押下後、編集メニュー"substitute"で実行する。

- ★ JJY_sec_cf.txt: 旧短波 JJY の正秒信号 1600Hz 正弦波 5ms (DUT1 情報の無い部分で 10 分毎の後半 5 分の音)
- * JJY_1kHz_cf.txt: 旧短波 JJY の付随音 1kHz 正弦波 45ms~960ms(DUT1 情報の無い部分で 10 分毎の前半 5 分は正秒音に付随)

周波数領域で編集する場合は標本配列のサイズはブロック長に固定され、変数付数式で Fourier 係数(デカルト形式または極形式:表記 "Re/abs:x as index"、"Im/arg":註参照)を実部、虚部または絶対値、偏角(rad)の組で指定し、変数無し数式(表記"shift amount")で逆変換後の回転シフト量を指定する。編集メニューは係数の指定に対応して IDFT(Cart.)、IDFT(polar)をそれぞれ選択する。起動時既定の式は、signal A が TSP 信号、signal B が pink-TSP 信号のそれぞれブロック長 100ms の極形式 Fourier 係数である。

註:標本数を Nとするとき(起動時既定のサウンド設定では 4410)指標 $0 \sim N/2$ の N/2+1 個の要素を指定し(残りの要素は直流成分 0 と Nyquist 成分 N/2 を除いた N/2-1 個の複素共役を折り返し)。 pink-TSP 信号の様に指標 0 とそれ以外で異なる式を用いる場合はセミコロンで区切って記述する。

周波数領域での編集では、時間領域の編集ではできないスペクトラムが完全に平坦な信号を生成することができる。以下の同梱サンプルテキストファイルは既定サウンド設定用の極形式("IDFT(polar)"で実行)で記述され、既定のサウンド設定以外では標本数を Nとするとき式中の 4410 を N、 2205 を N/2 に変える。スペクトラム窓を"None (square)"としたとき (pnkTSP、pinknoise については対数スケールで)スペクトラムは正確な直線になる。

- ★ upTSP_full_polar_100ms_cf.txt: 実効長がブロック長の上昇 TSP 信号(振幅が一定、位相が周波数の自乗に比例: p.12 図 13 参照。signal A 起動時既定)
- * upTSP_half_centered_polar_100ms_cf.txt: 実効長がブロック長の約 1/2 (2205 は奇数であるため 2206 に設定) の上昇 TSP 信号 (パワー最小となる時刻をブロック先頭としている。ブロック先頭からスイープを開始する場合には 3 行目を 0 に変える)
 - ★ whitenoise polar 100ms cf.txt:ホワイトノイズ(振幅が一定、位相がランダム)
- ★ pinkTSP_full_polar_100ms_cf.txt: 実効長がブロック長の pink-TSP 信号 (DC 成分を除き振幅が周波数の平方根に反比例、位相が周波数÷周波数の対数に比例: p.12 図 14 参照。signal B 起動時既定)
 - ★ pinkTSP half polar 100ms cf.txt: 実効長がブロック長の 1/2 の pink-TSP 信号
- ★ pinknoise_polar_100ms_cf.txt: ピンクノイズ (DC 成分を除き振幅が周波数の平方根に反比例、位相がランダム)

次の2本は sinusoids モード "EDIT" ON の既定の波形 (220Hz 矩形波、440Hz 三角波) を周波数領域で構成する例で、振幅と位相は Fourier 級数展開での値と同じである。sinusoids モードでは指定項数 (表記"number") の正弦波成分を加算するが、ここでは Nyquist 周波数未満の成分を全て生成する。

- ★ square220Hz_polar_100ms_cf.txt: 220Hz 矩形波(1 行目で 22 は周波数×ブロック長、44 はその 2 倍)
- ★ triangle440Hz_polar_100ms_cf.txt:440Hz 三角波(1 行目で 44 は周波数×ブロック長、1、2 行目で 88 はその 2 倍)

例:高速スイープ信号

p.8 図 8 は、ブロック長 200ms で、signal A に formula モードで同梱の fastsweep_200ms_wg.txt を読込み、パラメータ w、a を設定し、 $20 \text{Hz} \sim 20 \text{kHz}$ を 200 ms で指数関数スイープする無音区間の無い単純な高速スイープ信号を生成した例である。信号がブロック長で完結するため、"auto reset" ONで毎ブロックの先頭で t を 0 に初期化する("auto reset" OFFでは、次のループで Nyquist 周波数を超え、間もなく折り返し雑音が白色雑音状になり、約 20 s で指数あふれを生じて以後は無音となる)。

signal B には (スイープ信号の生成には関係ないが) ブロック長の逆数の周波数 5Hz で位相がπの

鋸歯状波を設定し、XY グラフに信号電圧に比例して電子を垂直軸に偏向し水平軸を時間で掃引する CRT オシロスコープの原理を示している。

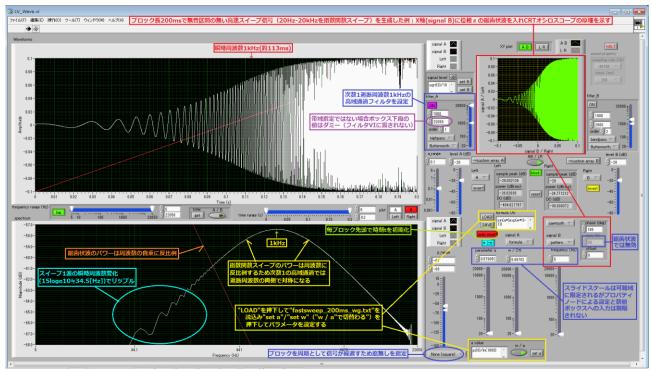


図 8 20Hz~20kHz の高速スイープ信号に次数 1 遮断周波数 1kHz の HPF を掛けた例

指数関数スイープではスペクトラム(信号がブロック長を周期としているこの例では窓関数は"None (square)"を指定:以下、p.11 図 12 以外全て同じ)が 10 dB/decade(約 3 dB/oct.)で減衰するため、次数 1(20 dB/decade:約 6 dB/oct.)の高域通過フィルタを通したとき遮断周波数(この例では 1 kHz)に関して両側の傾斜が共に 10 dB/decade となり、対数スケールでは対称となる。スイープ 1 波当りの瞬時周波数の変化は周波数にはよらず一定($15 loge 10 \Rightarrow 34.5$ [Hz])であり、スペクトラムグラフの低域ではこの周期で変動する様子が見られる。

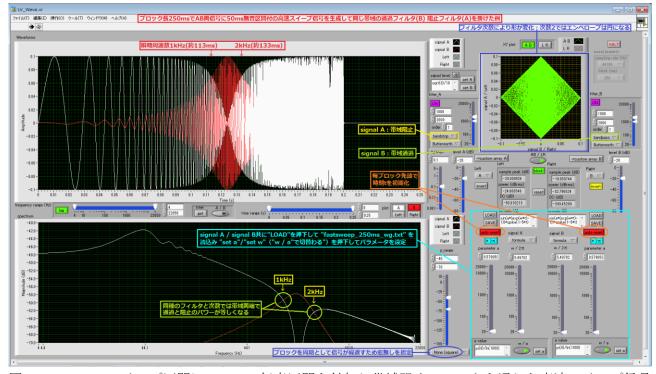


図 9 200ms のスイープ区間に 50ms の無音区間を付加し帯域阻止フィルタを通した高速スイープ信号

 $p.8 \boxtimes 9$ は、同梱の $fastsweep_250ms_wg.txt$ をブロック長 250ms で signal A、signal B 共に formula モードで読込み、パラメータ w、a を設定し、両信号に同じ帯域([1kHz, 2kHz])、次数(1)の Butterworth フィルタを阻止(signal A)と通過(signal B)で掛けて波形とスペクトラムを対比した例である。この式は、 $p.8 \boxtimes 8$ の signal A の信号生成式に spike 関数(引数が区間 [0,1) に含まれるとき 1、それ以外は 0)を用いて終端周波数に達した 200ms 以降は 0 となる様に修正して 50ms の無音区間を付加したもので、生成される信号は旧情報学実験 I ②「交流信号と共振回路」で使用したものと同じである。同じ信号にフィルタを掛けた場合、同種のフィルタで次数も等しければ(Chebyshev フィルタの次数 1 以外では異なる次数でも) 帯域の両端で帯域通過と帯域阻止のパワーは等しくなる。

図 10 は、波形グラフの時間レンジを瞬時周波数がフィルタ帯域となるスイープ区間(註参照)、スペクトラムグラフの周波数レンジをフィルタ帯域の周波数にそれぞれ設定して拡大表示した例である(信号は p.8 図 8 の signal A と同じ)。ここでは signal A に掛けた阻止フィルタ (次数 9) の位相遅れが大きく、時間軸で見れば波形グラフの右端で signal B の通過フィルタ (次数 1) の処理結果と振幅が等しくならないが、周波数軸で見ればスペクトラムグラフの右端で両者のパワーが等しくなることが分る。

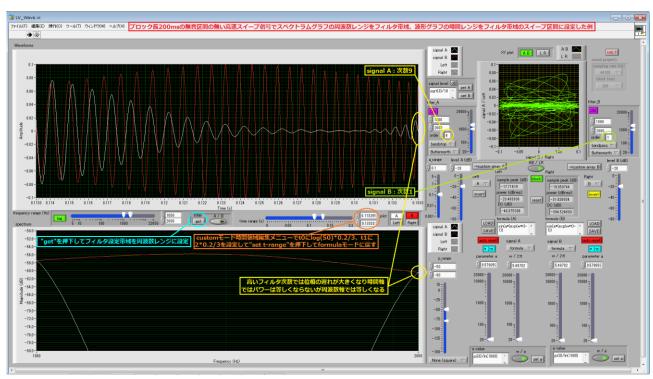


図 10 フィルタを掛けた高速スイープ信号のグラフレンジを当該フィルタ帯域に限定した例

註:スイープ速度 0.2s/3decades、始端周波数 20Hz の指数関数スイープ信号で帯域 [1kHz, 2kHz] を指定する例では、何れかの信号を custom モード時間領域編集メニューに設定し、t0、t1 の数式文字列にそれぞれ log(50)*0.2/3(1000/20=50)、2*0.2/3($log_{10}(2000/20)=2$)を入力して "set t-range" を押下して formula モードに戻せばよい。逆に、特定のスイープ区間に相当する周波数帯域をフィルタ帯域に設定するには、何れかの信号を noise etc.モードで DTMF 以外に設定して、フィルタ周波数設定パネルの band-low、band-high の数式文字列で当該周波数を求めればよい。例えばスイープ区間 [0.12s, 0.16s] の帯域を指定するにはそれぞれ $20*10^*(0.12*3/0.2)$ 、 $20*10^*(0.16*3/0.2)$ を入力して set を押下する。

本来の高速スイープ信号(NAB Broadcast & Audio Test CD, Vol 2, Track. 51)はオシロスコープを用いて音響機器の周波数特性データを短時間で得るためのもので、オシロスコープトリガー用に**第1波のみ 2dB 高く**(微分は連続しない)、また機器の極性を問わず低域の応答が不足する場合にもトリガーのソースが得られる様に左右逆相で生成されている。旧情報学実験 \mathbb{I} ②「オシロスコープと信号処理[オシロスコープ編]」ではこの信号を MATLAB で生成して使用した。

同梱の fastsweep_250ms_boost_wg.txt は、fastsweep_250ms_wg.txt の波形生成式に更に spike 関数を追加して、第 1 波の区間(t が 0 ~ $\ln (\ln (1000)/4+1)/\ln (1000)*0.2$ の約 29ms)の みを 10^0.1 倍(2dB 増加)している。

図 11 は、ブロック長 250ms でこれを signal A、signal B の両信号に formula モードで読込み、パラメータ w、a を設定し、signal A に次数 2(40dB/decade:約 12dB/oct.)帯域 [8Hz, 16kHz]の通過フィルタを掛けて SONY PCM-M10 のヘッドホンアンプ部の再生特性を模倣した例である。この録音機は低雑音のマイクロホンアンプに定評があるが、mp3 エンコーダの 16kHz LPF に合せて再生特性では高域をカットしており、またスピーカ等の保護のため直流分もカットしている。

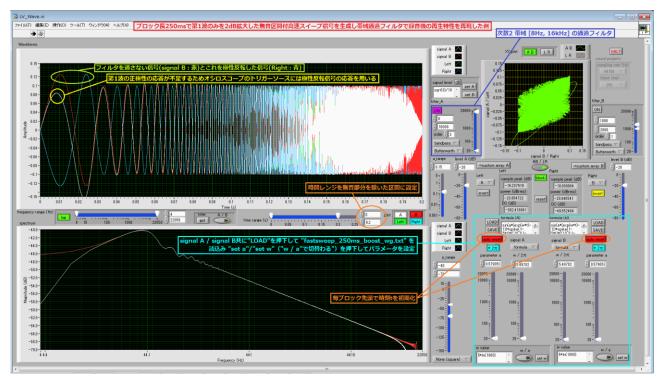


図 11 オシロスコープのトリガー用に第1波の振幅を 2dB 高くした高速スイープ信号

例:低速スイープ信号

音響機器計測の周波数指数関数スイープ信号では 5s/oct.が低速の標準スイープ速度とされており、p.11 図 12 は、CD プレーヤテスト信号の一つである $5Hz\sim22050Hz$ の指数関数スイープ信号をこの速度で生成した例である。signal A に formula モードで $slowsweep_wg.txt$ (指数関数スイープの式、スイープ速度、初期値のパラメータを記述)を読込み、パラメータ w、a を設定して 5Hz 開始のスイープ信号を生成する。

この信号はブロック長で完結しないため"auto reset" OFF で実行し、実行時のブロック長は任意(ここでは既定のブロック長 100ms)である。生成式 1 行目の指数関数スイープの式では、無音区間付高速スイープ信号 $fastsweep_250$ ms $_wg.txt$ と同様に終端周波数に達した時刻(約 60.53s)以降は spike 関数を用いて出力を 0 にしており、標本化周波数 48000Hz で 24kHz まで出力する場合は、1 行目の式中 4410(終端周波数と始端周波数との比)を 4800 に修正して実行する。

signal B には(p.8 図 8 と同様、信号生成には関係しないが)XY グラフでオクターブ移動と特定の周波数の生成タイミングを確認できる様にオクターブスイープ時間の逆数の 0.2Hz の鋸歯状波を設定している。鋸歯状波の位相は、XY グラフで中心を通過(signal B が 0)する周波数を f[Hz]とするとき $-\log_2(f/5)*360(\deg)$ とすればよい。f が 1000、440 ではそれぞれ(-360, 0]に区間還元して-231.79、-165.40 となる(中心通過ではなく左端からの出現とする場合はこれに 180 を加える)。signal A、signal B 両信号の同期を取るため、"reset"を押下して開始する。

 $signal\ B$ は 5s に 1 回のクリック音となるため Right への出力割当ては off とし、波形グラフの時間軸(青表示)として使用し、p.11 図 12 では波形グラフでも周波数 f の生成タイミングの確認を容易にし

ている。オクターブではなくディケード間の移動を見るならば鋸歯状波の周波数を $0.2 \times \log_{10} 2$ [Hz]、位相を $-\log_{10}(f/5)*360$ (deg)とすればよい。

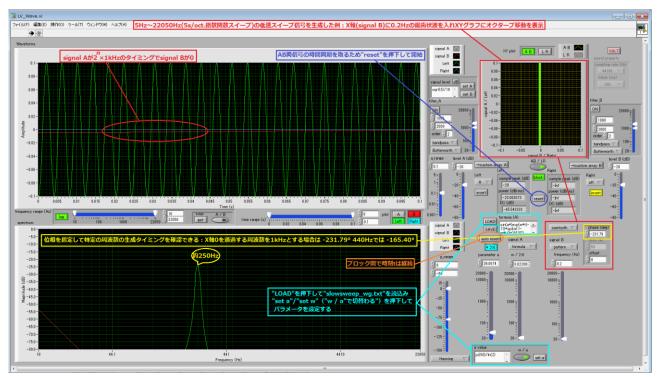


図 12 5s/oct.の低速スイープ信号

例: TSP 信号

時間領域で波形を記述する formula モードのスイープ信号では、p.8 図 8 の低域のリップルに見る様に周波数領域ではスペクトラムが所期の特性(指数関数スイープではパワーが周波数に反比例)とはならない。一方、Fourier 係数でブロック長の逆数の整数倍の周波数成分を規定する custom モードの周波数領域編集ではスペクトラムで正確な特性を実現できるが、逆に時間領域の波形グラフでは高低の周波数成分が混じりあったものとなる。

 $p.12 \boxtimes 13$ は、実効長がブロック長に等しい上昇型 TSP 信号(註 1 参照:signal A 既定)に遮断周波数 5kHz 次数 1 の高域通過フィルタを掛けた例である。「瞬時周波数」(実際には混じりあっている)が周波数 0 から Nyquist 周波数までブロック長で時間に比例して増加するため、スペクトラムグラフのスケールをリニアに設定すると波形グラフと縦に揃う(波形グラフで 5kHz の時刻は 5000/22050*0.1)。

註 1: TSP(time stretched pulse: swept sine)信号は、全ての周波数成分を等しく含むパルスの「時間を伸張」してインパルス応答測定で十分な S/N を得られる様にパワーを確保したもので、Fourier 係数の絶対値は一定で、位相は周波数の自乗に比例する。位相の式の符号が負のとき周波数が時間とともに上昇、正では下降する。p.12 図 13 の信号は無音区間が無くインパルス応答の測定には使えない。無音区間付の同梱の $upTSP_half_centered_polar_100ms_cf.txt$ で生成して表示する場合は波形グラフの時間レンジを[0.025s, 0.075s]とする。

p.12 図 14 は、実効長がブロック長に等しい pink-TSP 信号(註 2 参照:signal B 既定)に遮断周波数 1kHz 次数 1 の高域通過フィルタを掛けた例でスペクトラムグラフのスケールを対数に設定すると波形グラフと縦に揃う(波形グラフで 1kHz の時刻は log(1000*0.1)/log(22050*0.1)*0.1)。

註 2; pink-TSP (logarithmic swept sine) 信号は、指数関数スイープ、ピンクノイズと同様にパワーが周波数に反比例する。生成式では、逆変換後の回転シフト量を「瞬時」周波数が時刻 0 でブロック長逆数、時刻ブロック長で Nyquist 周波数となる様に設定している。実効長がブロック長に等しい場合は

ブロック長逆数未満の低域の多重折り返しが目立ち、高域通過フィルタ OFF の signal B (赤) では信号値が正の側に大きく偏っている。無音区間付の同梱の $pinkTSP_half_polar_100ms_cf.txt$ で生成して表示する場合は波形グラフの時間レンジを[0s, 0.05s]とする。

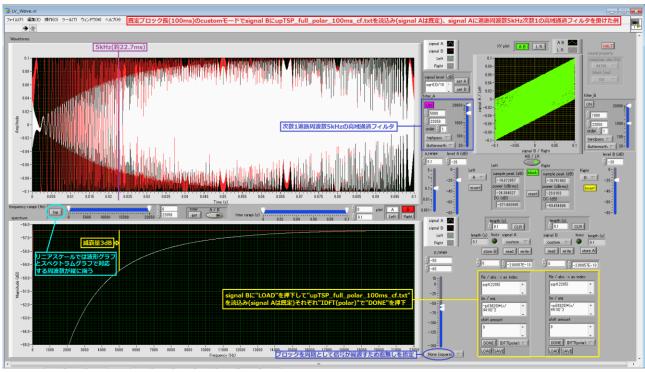


図 13 実効長がブロック長に等しい上昇型 TSP 信号に高域通過フィルタを掛けた例

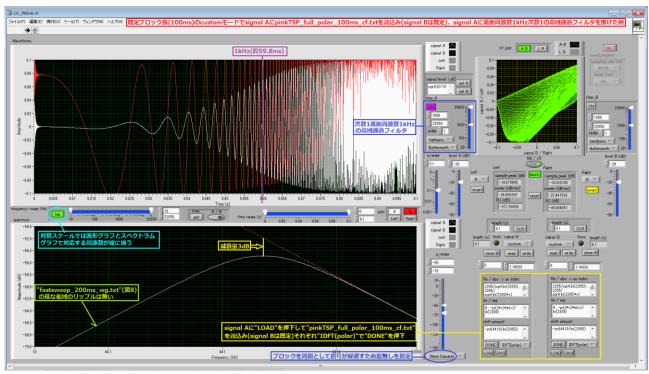


図 14 実効長がブロック長に等しい pink-TSP 信号に高域通過フィルタを掛けた例

備考

- LabVIEW2013 ランタイムエンジン(ファイルサイズ 257MiB)は下記の URL にある。
 http://ftp.ni.com/support/softlib/labview/labview_runtime/2013/Windows/LVRTE2013std.exe
 National Instruments 社は LabVIEW 2014 までの旧版について Windows10 での動作を公式には
 保証していないが、以下のフォーラム(2013 の前の 2012 での議論)に見る様に問題なく動作する。
 https://forums.ni.com/t5/LabVIEW/Can-I-install-2012-run-time-engine-under-windows-10/td-p/3
 607729
- 実行プログラムは LabVIEW2013 で情報科学研究教育センター前システムの Virtual Desktop (OS は Windows 7 であるがシステムフォントは Windows XP と同じ MS UI Gothic を採用) に合せて作成されており、設定ファイルには以下の 4 行が書かれている。

[VI ファイル名(拡張子無し)] appFont="MS UI Gothic" 12 dialogFont="MS UI Gothic" 12 systemFont="MS UI Gothic" 12