

波形の周波数解析 (FFT) .tran解析の波形を利用する

LTspiceでは .tran解析 (時間軸 (time domain)) でのシミュレーションで得られた波形から、周波数解析 (スペクトラム解析) をするための「FFT(Fast Fourier Transform : 高速フーリエ変換)」機能がある。

本トピックでは、このFFTを正しく利用し、得られたグラフを正しく評価するためのヒントを示す。

「フーリエ変換(FT)」とはある「時間領域の関数」を「周波数領域の関数」に変換することを指す。周波数領域に変換することで、三角関数 (正弦と余弦関数) の高次多項式として表すことができ、その多項式の係数をフーリエ係数と呼ぶ。その係数から各次数の絶対値と位相を求めることができ、それらを周波数軸に対してプロットしたものが「周波数スペクトラム」である (位相を含まず、大きさだけをプロットしたものを「スペクトラム」と呼ぶことが多い)。いまでは、単なる「フーリエ変換」のことを「FFT」と呼んでいる場合もあるようだが、フーリエ変換 (フーリエ係数を求めること) をコンピュータ上で高速で計算できるようにした「アルゴリズム」をFFTと呼ぶ。これに対し、旧来の周波数ごとに畳み込み積分で係数を求める手法をDFT (Discrete Fourier Transform : 離散フーリエ変換) とよぶ。データがコンピュータ上にある限りは、サンプリングされた (離散的な) データであるが、個別の周波数成分ごとに計算をする・・・という観点からDFTと呼んでいる。DFTを「デジタル・フーリエ変換」と呼ばれることもあるが、DFTもFFTもどちらもデジタル処理である。

なお、「spectrum」をもとの発音に近く表記すると「スペクトラム」となるが、古くから日本では「スペクトル」という表記が長く使われてきた。

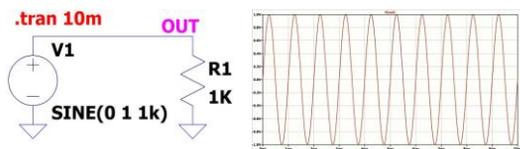
— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya — 2020/04/15・・・渋谷道雄 —

1

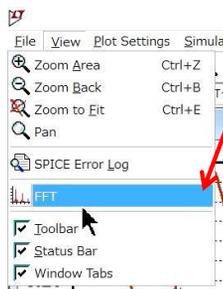
グラフからFFTを実行する (1)

まずは、きわめて基本的な回路でスペクトラムを表示する手順を示そう。

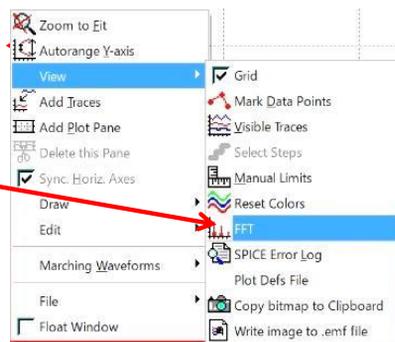
右図に示したのは、正弦波 (1kHz) を10波表示する回路図とその波形表示である。その結果を使ってFFTを実行するには・・・



回路図ペインをアクティブにして、メニューバーの「View」からプルダウンして「FFT」をクリックするか・・・



回路図ペインの上でマウスの右クリックをし、表示されたメニューから「View」・・・「FFT」をクリックする。



— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya —

2

グラフからFFTを実行する（2）

左図に示すようなFFTの設定窓が開く（各項目を設定する）
設定が終わったら「OK」をクリックする

解析をする信号名をマーク
（複数の場合は[ctrl]を押しながら、マウス・クリック）。

FFTに利用するポイント数 実際のデータ数が少ないときにはそれを採用
最大数=2²⁴=16777216、デフォルト=262144 (2¹⁸)
データ数は2ⁿでなくても、均等にデータを分割し、計算できる。

2次のデータ補間に非圧縮データを使う
大元のデータも非圧縮しておかないと、この機能は有効にならない
(.OPTIONS plotwinsize=0の設定など)

利用するデータ区間を規定する

- シミュレーション結果の全体
- ズームした場合のグラフ表示の範囲
(表示範囲を拡大した部分のみを利用するとき)
- 左の枠に設定した時間区間

2項係数による移動平均(スムージング)のポイント数
元のデータのノイズ成分を無視したいときには利用。そうでなければ「1」

ウィンドウ関数の選択(ウィンドウ関数を利用する根拠が明白でない場合には使わない)

ウィンドウ関数の形の確認(関数の形状を示してくれる)

スペクトラムの表示範囲と分解能

最低周波数(周波数軸の左端)と分解能

- ◆ FFT変換に使う(時間領域データの)時間範囲の逆数
- ◆ 波形を拡大している時にはその選択範囲。厳密に合わせたいときには、変換範囲の時間軸の値を目的に応じて設定する
 - ◆ 時間軸の区間が、10m秒であれば、0.1kHzから始まる
 - ◆ この最低周波数が、周波数軸の1ポイント当たりの**分解能**になる。
 - ◆ 1kHzの信号を10m秒シミュレーションした全データを使うと、1kHzのピークの幅は200Hz(中心に対して+/-100Hz)となる。

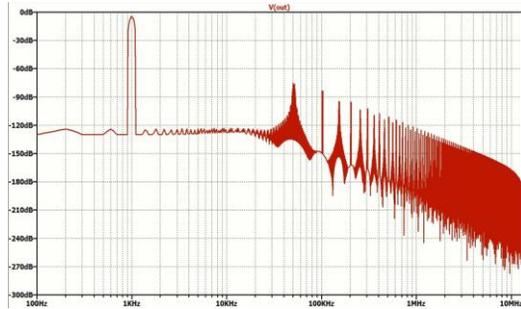
最高周波数(周波数軸の右端)

- ◆ データ解析に使った時間(区間)をデータポイント数で割り、その逆数の半分の周波数
 - ◆ 10m秒のデータで2¹⁸ポイントを使うと・・・13.1072MHz
 - ◆ 10m秒のデータで2²⁴ポイントを使うと・・・838.8608MHz
 - ◆ 10m秒のデータで2x10⁶ポイントを使うと・・・100.000MHz

例題の表示結果

(スムージング = なし、データ領域 = 全領域)

下の左図は回路図中には特別な設定をしていない、通常の「.tran」解析をしたシミュレーション結果である。この波形を見ると、正弦波が滑らかな曲線ではなく折れ線近似になっている。この波形をフーリエ解析すると、右図のように、1kHzの基本周波数のほかに50kHz付近に期待していないピークがある（ジッタのような幅もある）。その周波数から高周波側には、この50kHz付近のピークの高調波成分と見られるスペクトラムも見える。減衰の傾きはほぼ-40dB/dec.で、三角波あるいはのこぎり波の高周波特性に酷似している。すなわち、元の波形は正弦波を50kHzの「のこぎり波」で切りだした（サンプリングした）ようにみせる。このような波形を、増幅器の入力信号として使ってしまうと、増幅器そのものの歪特性などが評価できなくなってしまう。そのような用途に適した設定を次に示す。



— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya

5

回路図ペインでの設定

では、元の正弦波を滑らかにするには、回路図上でどのような設定が必要になるか……。その結果、スペクトラムのグラフはどのようになるか……。以下の手法で確認してみる。



- .tran 0 10m 0 1n** ← .tranコマンドの中のMaximum Timestepを短くする
(この例では極端に短く、正弦波のポイント数を100mmポイント/周期にしている)。
- .OPTIONS nomarch** ← Maximum Timestepを短くしたことで、シミュレーション時間が長くなるので、シミュレーション中の波形表示をしない設定
- .OPTIONS plotwinsize=0** ← シミュレーション結果の表示データの圧縮をしない設定
- .OPTIONS numdgt=15** ← シミュレーションの計算精度を「倍精度演算」にする

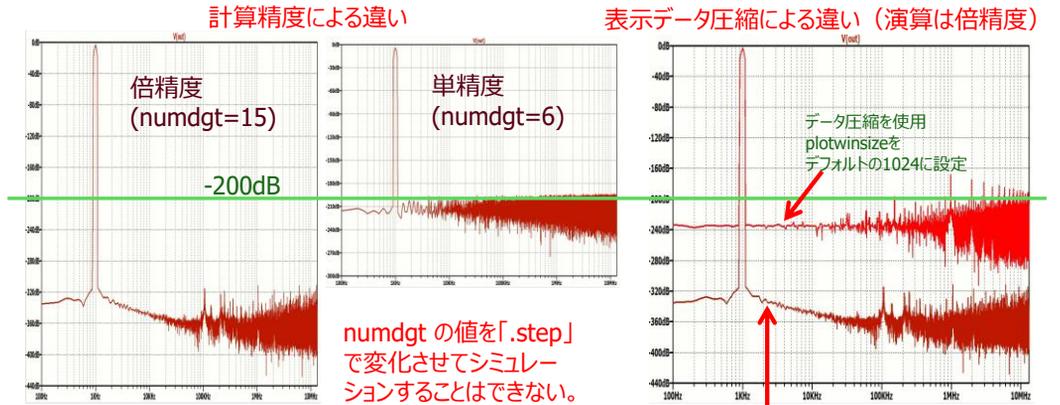


左図は、先ほどの何も設定していないシミュレーション結果と同じ拡大範囲で表示した波形。滑らかになっていることが確認できる。

— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya

6

設定パラメータの違いによる スペクトラムの変化



このように比較すると、それぞれのパラメータの影響がわかる。
スペクトラム解析の用途に応じてパラメータ設定を考慮する必要が出てくる

CQTV 3分一本勝負で FFTのダイアログボックスについて解説

このページの下の方にある「CQTV 3分一本勝負」のテーマの中にも、FFTについて解説をしたコンテンツがあります。このトピックで解説している内容とほぼ同じですが、動画解説をしているのでわかりやすいと思います。
下のそれぞれの図から、「CQTV 3分一本勝負」のコンテンツにリンクしています。

