

# LTspice の使い方(上級)

v1.8 Apr.2023

## 【目的】

電子回路シミュレータ LTspice(無償・素子数制限なし)の使い方を習得する。

## 【インストール】

インターネットで“LTspice”で検索または、下記リニアテクノロジーホームページからダウンロード! LTspice XVII を選択する。

URL→ <https://www.analog.com/jp/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

パッケージング、クオリティ、シンボル & フットプリント

回路設計 / 計算ツール

- アンプ & リニアツール
- クロック&タイミングツール
- データコンバータツール
- **LTspice**
- パワーマネジメントツール
- RF / シンセサイザツール

プロセッサとDSP

### LTspiceを使用する利点

通常のSPICEシミュレータと比較して、スイッチング・レギュレータのシミュレーションが非常に高速化され、ほとんどのスイッチング・レギュレータの波形を数分で表示できます。このビデオでは、アナログ回路設計でLTspiceを使用する利点と、どれだけ気軽に使用開始できるかをご紹介します。



### Download LTspice

Download our LTspice simulation software for the following operating systems:

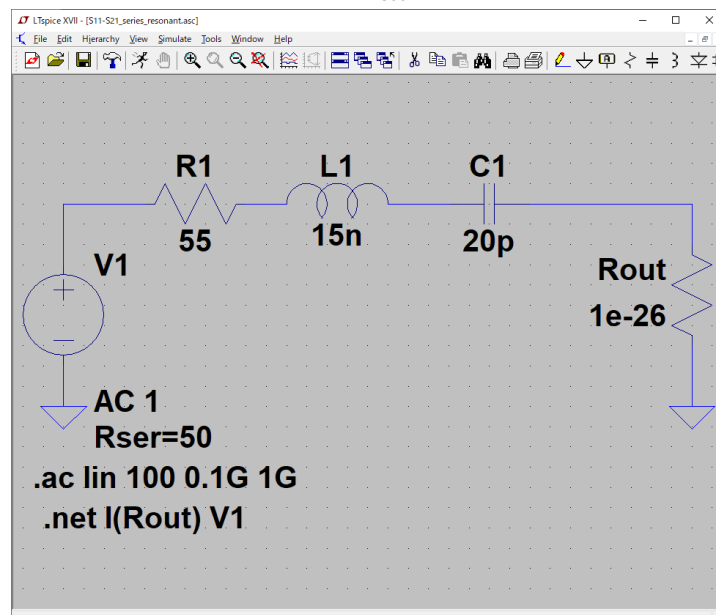
- Windows 7, 8 and 10用 ダウンロード** 更新日: 2020年10月03日\*
- Mac OS X 10.7+用 ダウンロード** 更新日: 2020年09月26日\*

[Windows XP用 ダウンロード](#) (サポートは終了しております)

\*date displayed reflects the most recent upload date

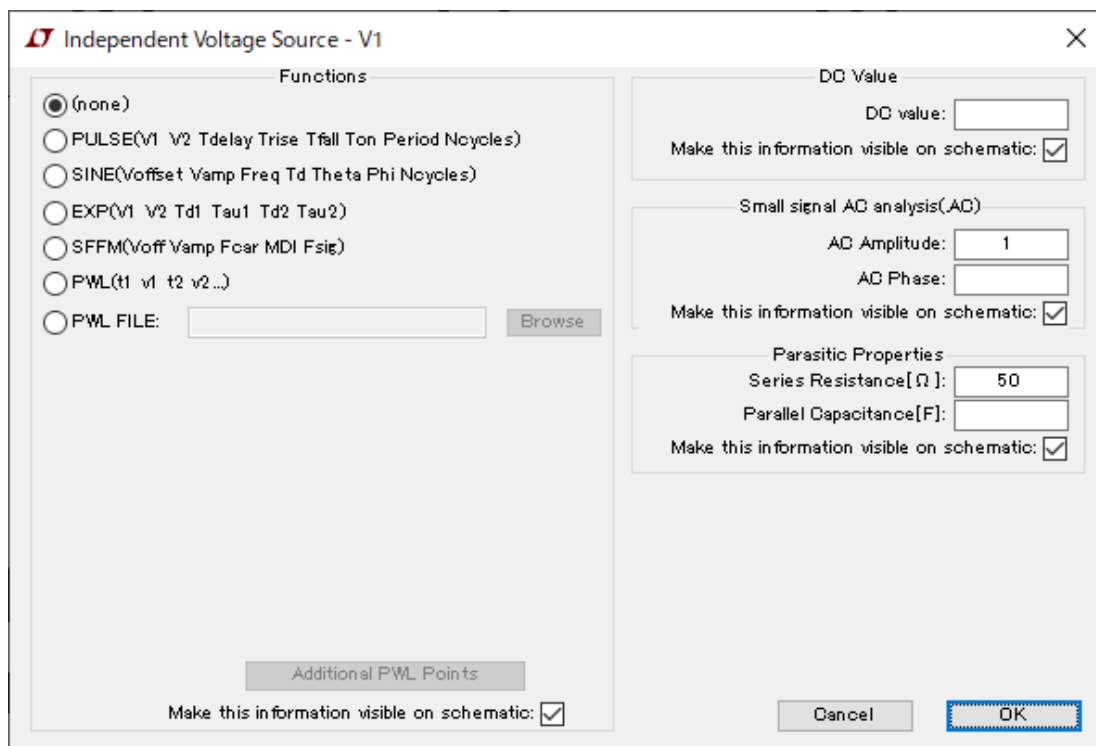
【例題 1】 次の直列共振回路の S パラメータ特性を解析する[1]。

$V_1=1\text{ V}$ ,  $R_{\text{ser}}=50\Omega$ ,  $R_1=55\Omega$ ,  $L_1=15\text{ nH}$ ,  $C_1=20\text{ pF}$ ,  $R_{\text{out}}=1\text{e-}26$  とする。(必要に応じてこれらの値を変える)



### (電源の設定)

AC Amplitude → 1 を入力(下図)、Parasitic Properties → Series Resistance [Ω] を 50 にする。これで内部抵抗 50Ωかつ振幅 1 V の電源を設定したことになる。



### (周波数特性の設定)

Simulate → Run を選択する。Edit Simulation Command が表示されるので、

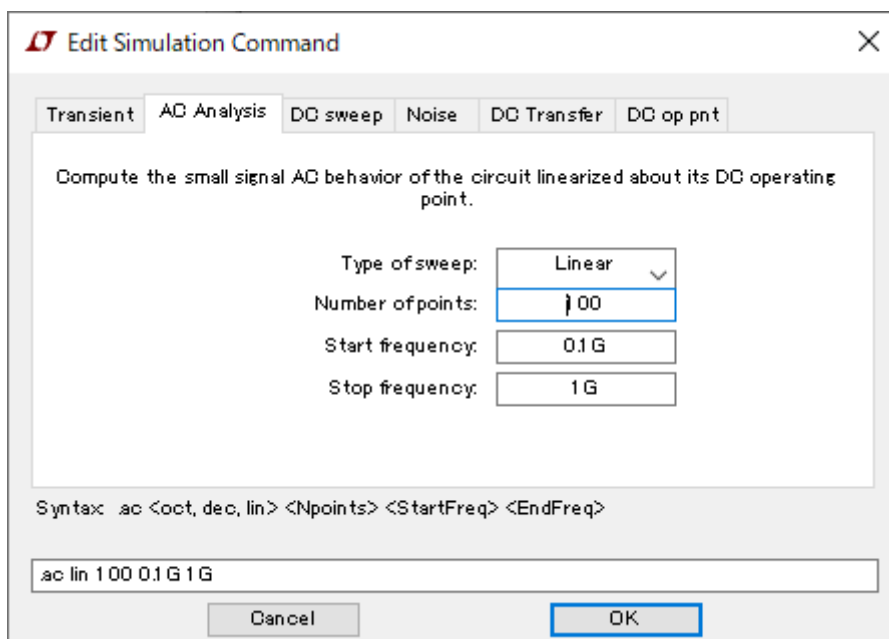
Type of sweep: Linear,

Number of points: 100,

Start frequency: 0.1G,

Stop frequency: 1G

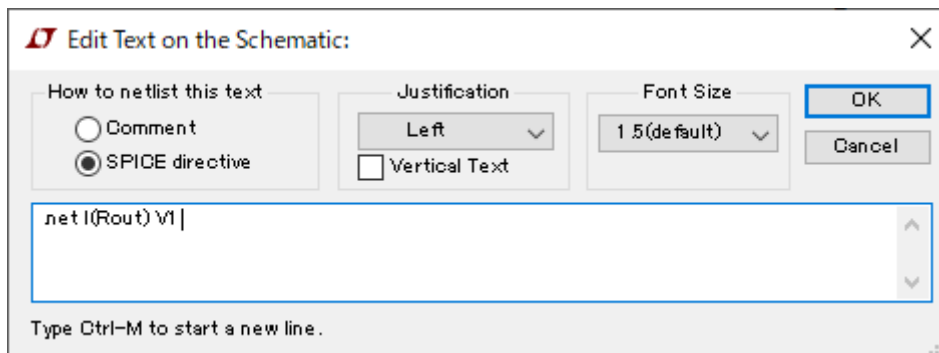
を入力する。入力が終わると、下の空欄に `.ac lin 100 0.1 G 1 G` が自動的にテキスト入力される。これはスタート周波数 0.1 GHz からストップ周波数 1 GHz までを線形スイープで 100 ポイント計算をすることを意味する。



(Sパラメータの設定)

Edit → SPICE directive を選択する。Edit Text on the Schematic: が表示されるので、空欄に  
.net I(Rout) V1

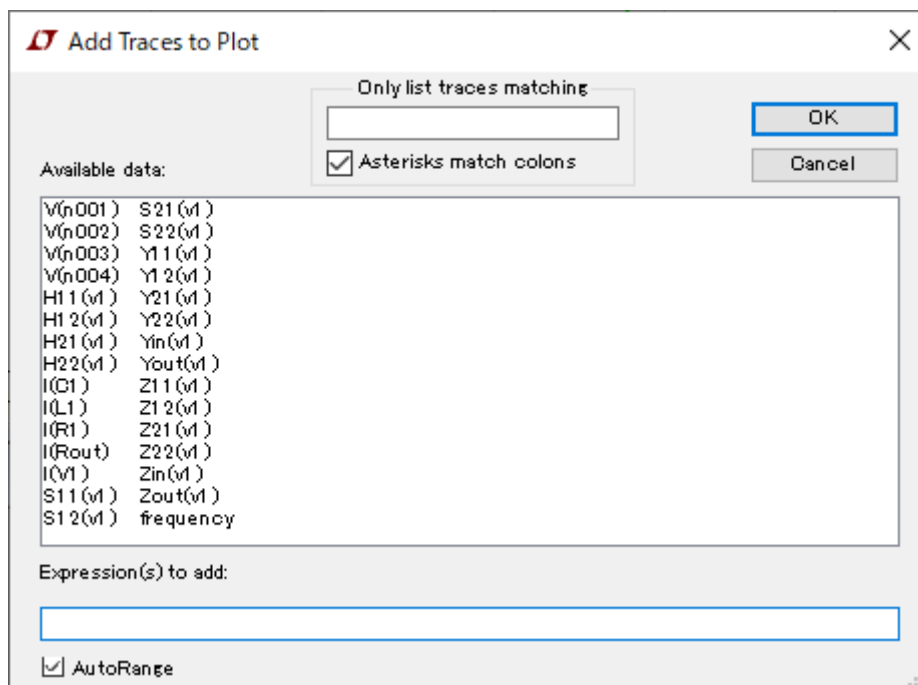
と入力する。これは.net コマンド(回路ネットワーク解析コマンドのこと)で出力抵抗 Rout の電流 I(出力電流)と電圧 V1(入力電圧)の間の2端子対パラメータ(Z, Y, H, S)を計算するためのオプションコマンドを示す。つまり、入力ポートが電圧源 V1 で、出力ポートが Rout の二端子対回路を意味する。

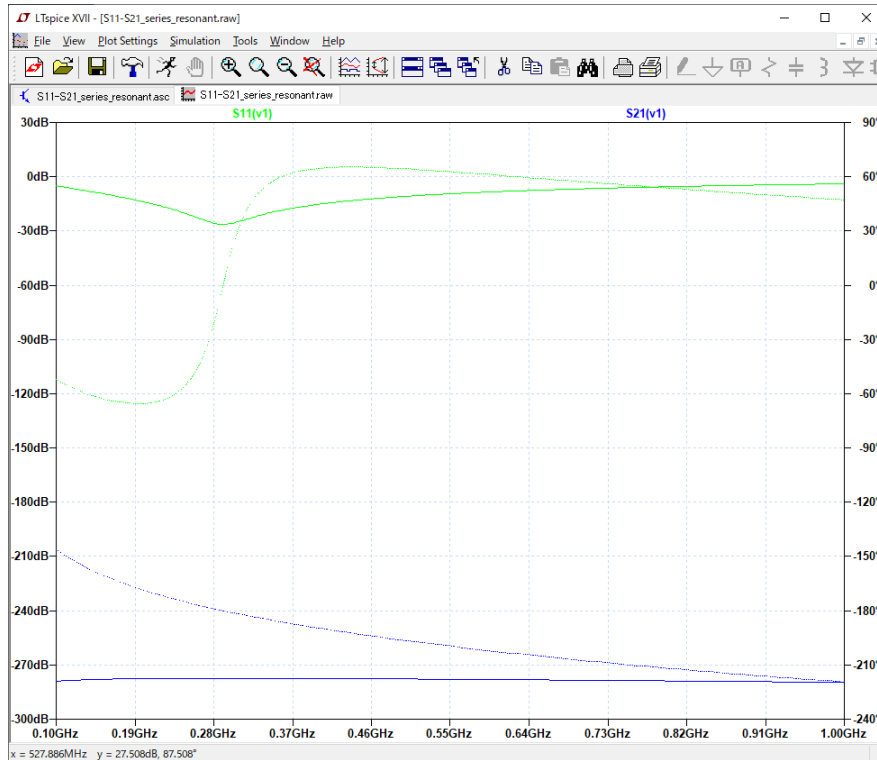


(Sパラメータの出力)

グラフ上で右クリックして Add Traces を選択する。Add Traces to Plot: が表示されるので、  
S11(v1)  
S21(v1)

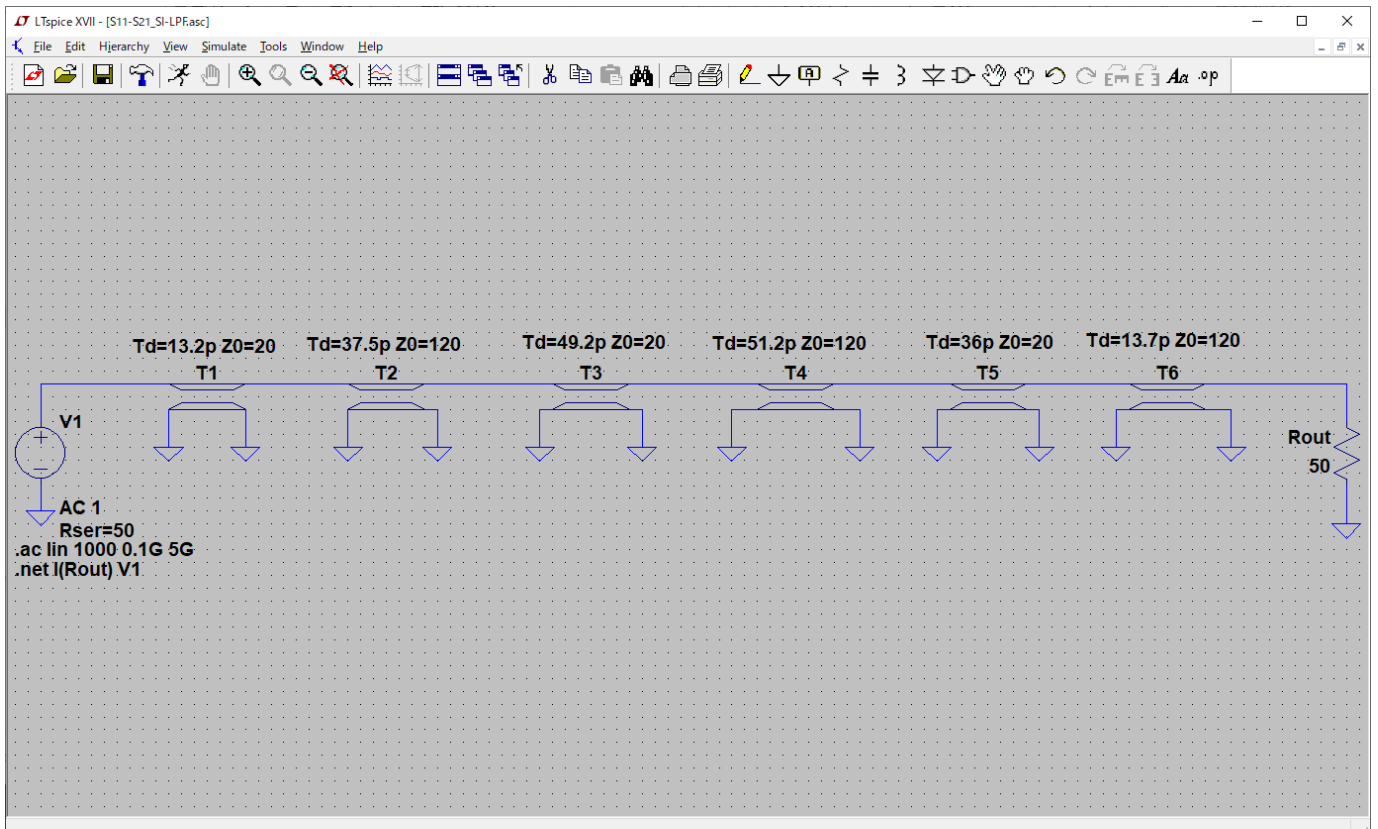
を選択する。.net コマンドを追加するだけで、Sパラメータ以外の回路ネットワークパラメータである H 行列、Y 行列、Z 行列、入力インピーダンス Zin、出力インピーダンス Zout も計算表示してくれる。ただし、.net コマンドを使わずに、回路の V-I 値から Sパラメータを導出することも可能である。





【例題 2】 次の 6 段ステップインピーダンス LPF の S パラメータ特性を解析する。

$V_1=1\text{ V}$ ,  $R_{\text{ser}}=50$ ,  $T_1$ :  $T_d=13.2\text{p}$ ,  $Z_0=20$ ,  $T_2$ :  $T_d=37.5\text{p}$ ,  $Z_0=120$ ,  $T_3$ :  $T_d=49.2\text{p}$ ,  $Z_0=20$ ,  $T_4$ :  $T_d=51.2\text{p}$ ,  $Z_0=120$ ,  $T_5$ :  $T_d=36\text{p}$ ,  $Z_0=20$ ,  $T_6$ :  $T_d=13.7\text{p}$ ,  $Z_0=120$ ,  $R_{\text{out}}=50$  とする。(必要に応じてこれらの値を変える。D. M. Pozar, Microwave Engineering 3<sup>rd</sup> ed., pp. 414-416, Wiley, 2005)



### (電源の設定)

AC Amplitude → 1 を入力、Parasitic Properties → Series Resistance [Ω] を 50 にする。これで内部抵抗 50Ωかつ振幅 1 V の電源を設定したことになる。(例題 1 と同じ)

### (周波数特性の設定)

Simulate → Run を選択する。Edit Simulation Command が表示されるので、

Type of weep: Linear,

Number of points: 1000,

Start frequency: 0.1G,

Stop frequency: 5G

を入力する。入力が終わると、下の空欄に `.ac lin 1000 0.1 G 5 G` が自動的にテキスト入力される。これはスタート周波数 0.1 GHz からストップ周波数 5 GHz までを線形スイープで 1000 ポイント計算をすることを意味する。(Number of points と Stop frequency 以外は例題 1 と同じ)

### (S パラメータの設定)

Edit → SPICE directive を選択する。Edit Text on the Schematic: が表示されるので、空欄に

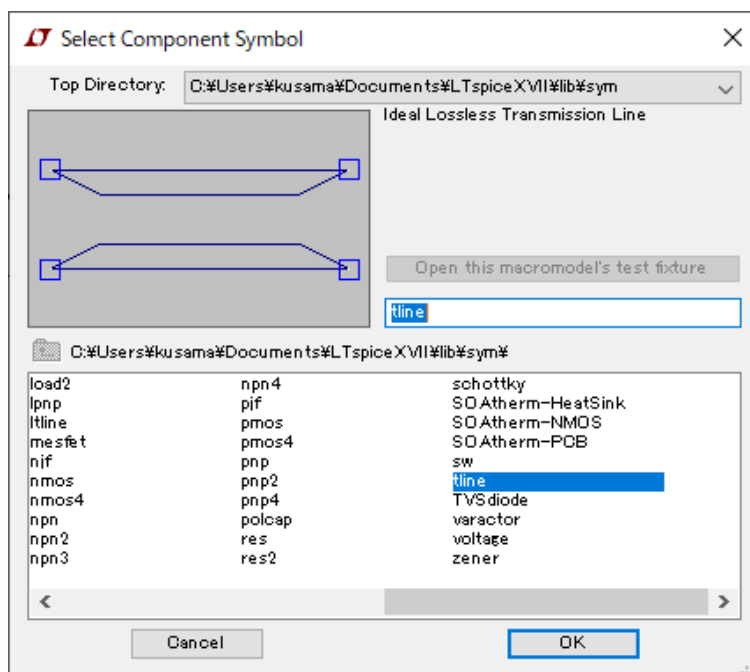
`.net I(Rout) V1`

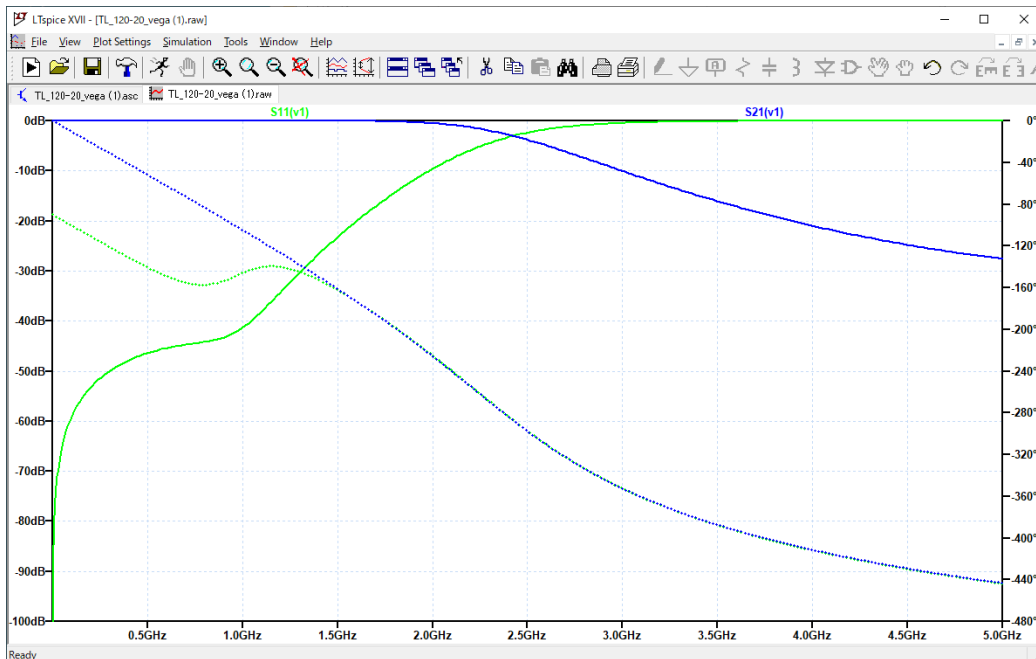
と入力する。これは `.net` コマンド(回路ネットワーク解析コマンドのこと)で出力抵抗 Rout の電流(出力電流)と電圧 V1(入力電圧)の間の 2 端子対パラメータ(**Z**, **Y**, **H**, **S**)を計算するためのオプションコマンドを示す。つまり、入力ポートが電圧源 V1 で、出力ポートが Rout の二端子対回路を意味する。(例題 1 と同じ)

### (伝送線路の設定)

Edit → Component → tline を選択する(損失を考慮した伝送線路の場合は ltline を選択する。)。配置したら、遅延時間 Td と特性インピーダンス Z0 に設計値を入力する。遅延時間は基板の実効誘電率を  $\epsilon_{eff}$ 、物理長を l [m] すると次式となる。

$$T_d = \frac{l}{v_c} = \frac{l\sqrt{\epsilon_{eff}}}{c}$$

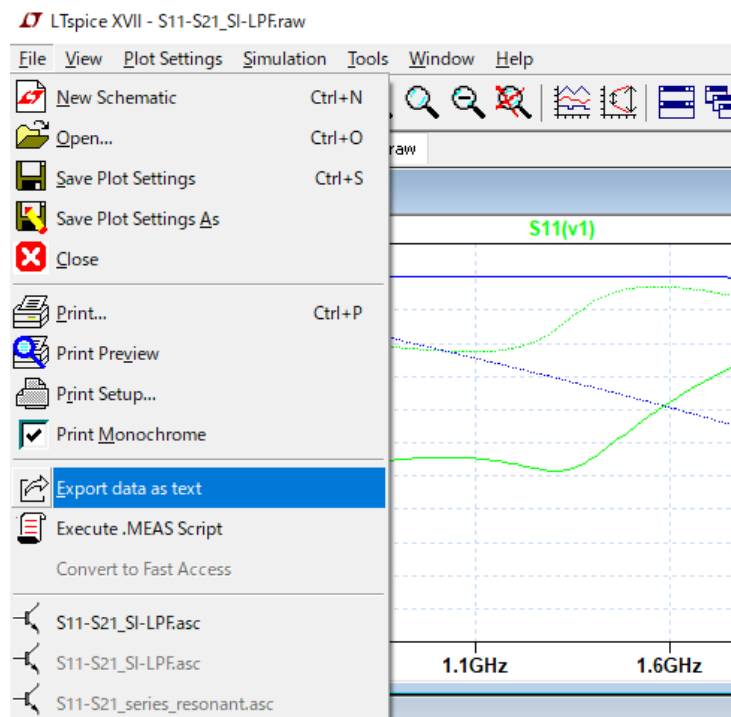




【エクセル出力】 計算結果をテキスト出力してエクセルで描画する。

(テキストデータ出力)

計算結果のグラフを選択した状態で、File → Export data as text を選択する。



(出力先と出力フォーマットの選択)

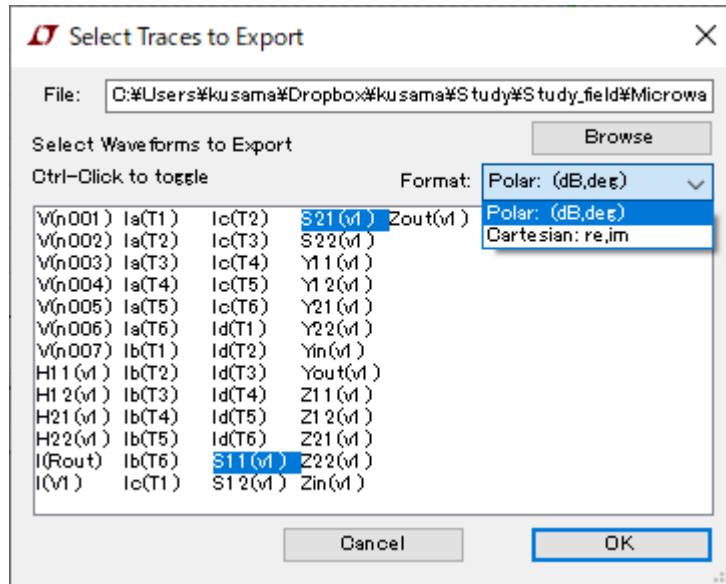
Select Traces to Export が表示されるので、テキスト出力させたいデータを選択する。

出力ファイルの保存先とフォーマットは以下のように指定できる。

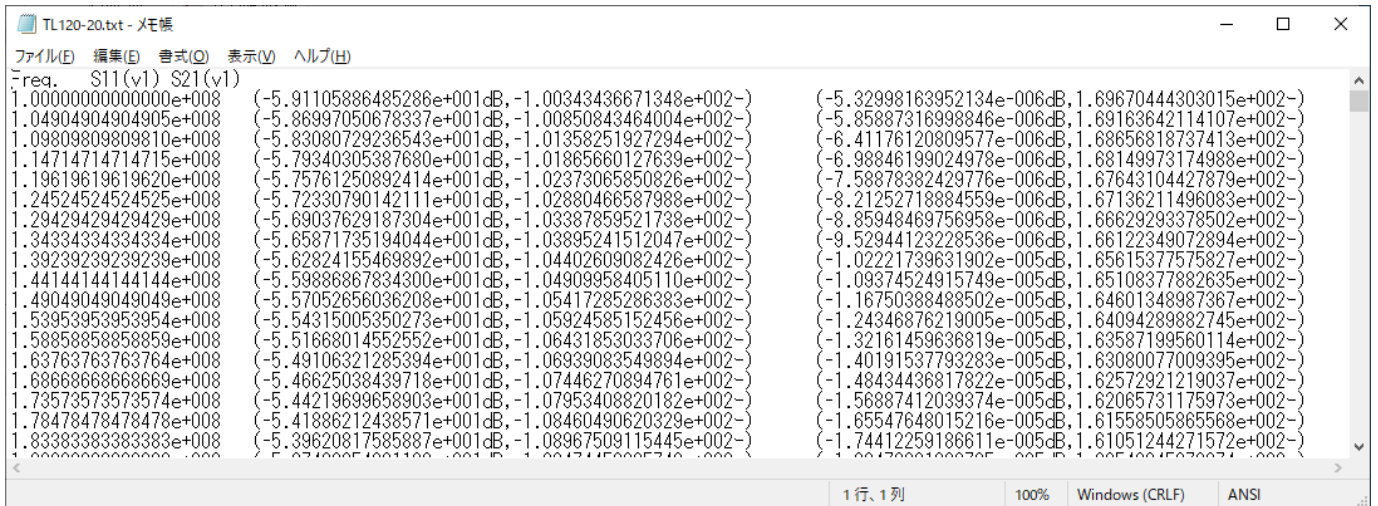
File: `***.txt` (保存先を指定しなければ、LTspice の回路図面ファイル.raw が置いてあるフォルダと同じ場所)

Format: (dB,deg) または re,im

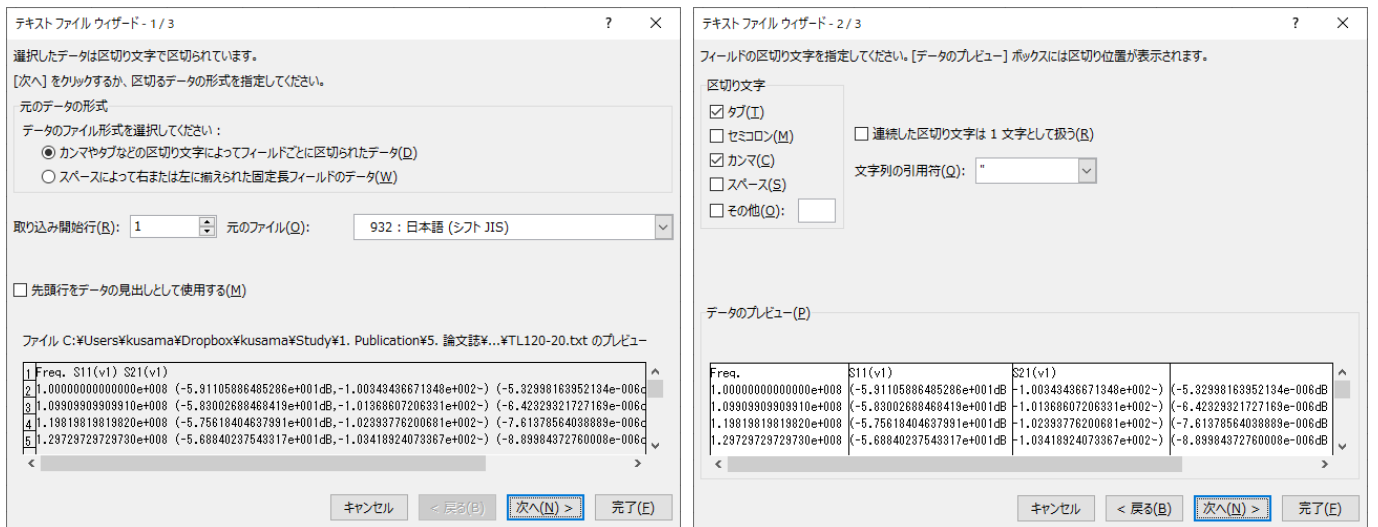
OK を押すとテキストファイル(.txt)が出力される。



下の例は出力フォーマットを(dB,deg)で選択した場合を示している。5つのデータは左から、周波数、S11(振幅、位相角度)、S21(振幅、位相角度)の順に並んでいる。



このファイルを Excel で開くときは、ファイル→開く→参照→ファイル名の種類→すべてのファイル(\*,\*)を選択→カンマやタブなどの区切り文字によってフィールドごとに区切られたデータを選択→次へ→区切り文字でカンマにチェック→次へ



ただし、このままでは、(, dB, -)など数値データではない記号が混入しており、Excel が数値データとして認識できないため、次のように不要な記号を消去する必要がある。ホーム→検索と選択をクリック→置換→①検索する文字列に ( を入力して



置換後の文字列を空白→すべて置換、②検索する文字列に dB を入力して置換後の文字列を空白→すべて置換、③検索する文字列に -) を入力して置換後の文字列を空白→すべて置換、することでエクセルデータとしてグラフ描画できる。

	A	B	C	D	E
1	Freq.	S11(v1)	S21(v1)		
2	1.00E+08	(-5.91105886485286e+001dB	-1.00343436671348e+002-	(-5.32998163952134e-006dB	1.69670444303015e+002-
3	1.10E+08	(-5.83002688468419e+001dB	-1.01368607206331e+002-	(-6.42329321727169e-006dB	1.68646475175585e+002-
4	1.20E+08	(-5.75618404637991e+001dB	-1.02393776200681e+002-	(-7.61378564038889e-006dB	1.67622415400673e+002-
5	1.30E+08	(-5.68840237543317e+001dB	-1.03418924073367e+002-	(-8.89984372760008e-006dB	1.66598256734823e+002-
6	1.40E+08	(-5.62580345100636e+001dB	-1.04444026091988e+002-	(-1.02797221087536e-005dB	1.65573990916272e+002-
7	1.50E+08	(-5.56768983995753e+001dB	-1.05469051896983e+002-	(-1.17515474685257e-005dB	1.64549609663389e+002-
8	1.59E+08	(-5.51349857484661e+001dB	-1.06493965012989e+002-	(-1.33133209627267e-005dB	1.63525104673109e+002-
9	1.69E+08	(-5.46276868276539e+001dB	-1.07518722346905e+002-	(-1.49629207850298e-005dB	1.62500467619352e+002-
10	1.79E+08	(-5.41511796136253e+001dB	-1.08543273671237e+002-	(-1.66981048995532e-005dB	1.61475690151426e+002-
11	1.89E+08	(-5.37022601152784e+001dB	-1.09567561091668e+002-	(-1.85165138959013e-005dB	1.60450763892423e+002-

一方、下の例は出力フォーマットを re,im で選択した場合を示す。5 つのデータは左から、周波数、S11 実部、S11 虚部、S21 実部、S21 虚部の順に並んでいる。

Freq.	S11(v1)	S21(v1)	S21(v1)	S21(v1)
1.00000000000000e+008	-5.62876516938537e-005,	1.77573030472060e-003	-9.83052800944483e-001,	1.83314031565484e-001
1.04904904904905e+008	-6.16787247156303e-005,	1.86531354093674e-003	-9.81354323131554e-001,	1.92198359181704e-001
1.09809809809810e+008	-6.72758570385845e-005,	1.95524947260227e-003	-9.79575467145239e-001,	2.01067343545999e-001
1.14714714714715e+008	-7.30717799147795e-005,	2.0455358724556e-003	-9.77716364096703e-001,	2.09920274743909e-001
1.19619619619620e+008	-7.90588998513808e-005,	2.13624123290307e-003	-9.75777151035264e-001,	2.18756443883575e-001
1.24524524524525e+008	-8.52292996991189e-005,	2.22732761145067e-003	-9.73757970941434e-001,	2.27575143141113e-001
1.29429429429429e+008	-9.15747398304578e-005,	2.31882777188315e-003	-9.71658972719657e-001,	2.36375665805962e-001
1.34334334334334e+008	-9.80866593862650e-005,	2.41075660353426e-003	-9.69480311190739e-001,	2.45157306326187e-001
1.39239239239239e+008	-1.04756177609966e-004,	2.50312882924798e-003	-9.67222147083985e-001,	2.53919360353747e-001
1.44144144144144e+008	-1.11574095256972e-004,	2.59595899848640e-003	-9.64884647029015e-001,	2.62661124789706e-001
1.49049049049049e+008	-1.18530896090041e-004,	2.68926148037897e-003	-9.62467983547309e-001,	2.71381897829416e-001
1.53953953953954e+008	-1.25616748475443e-004,	2.78305045671811e-003	-9.59972335043414e-001,	2.80080979007645e-001
1.58858858858859e+008	-1.32821507056624e-004,	2.87733991488661e-003	-9.57397885795886e-001,	2.88757669243657e-001
1.63763763763764e+008	-1.40134714540441e-004,	2.97214364072950e-003	-9.54744825947891e-001,	2.97411270886246e-001
1.68668668686869e+008	-1.47545603574217e-004,	3.06747521136210e-003	-9.52013351497543e-001,	3.06041087758716e-001
1.73573573573574e+008	-1.55043098733376e-004,	3.16334798791371e-003	-9.49203664287915e-001,	3.14646425203815e-001
1.78478478478478e+008	-1.62615818615319e-004,	3.25977510821285e-003	-9.46315971996759e-001,	3.23226590128606e-001
1.83383383383383e+008	-1.70252078039557e-004,	3.35676947940320e-003	-9.43350488125929e-001,	3.31780891049295e-001

このファイルを Excel で開くときは、ファイル→開く→参照→ファイル名の種類→すべてのファイル(\*,\*)を選択→カンマやタブなどの区切り文字によってフィールドごとに区切られたデータを選択→次へ→区切り文字でカンマにチェック→次へ、でエクセル数値データとして読み込める。ただし、大きさや位相角度を表示するには以下の計算が必要である。

$$|S_{11}| = \sqrt{\text{Re}[S_{11}]^2 + \text{Im}[S_{11}]^2},$$

$$|S_{11}|[\text{dB}] = 20 \log_{10} |S_{11}|$$

$$\angle S_{11} = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[S_{11}]}{\text{Re}[S_{11}]} = \text{atan2}(\text{Re}[S_{21}], \text{Im}[S_{21}])$$



$$|S_{21}| = \sqrt{\operatorname{Re}[S_{21}]^2 + \operatorname{Im}[S_{21}]^2},$$

$$|S_{21}|[\text{dB}] = 20 \log_{10} |S_{21}|$$

$$\angle S_{21} = \tan^{-1} \frac{\operatorname{Im}[S_{21}]}{\operatorname{Re}[S_{21}]} = \operatorname{atan2}(\operatorname{Re}[S_{21}], \operatorname{Im}[S_{21}])$$

詳しい使い方を知りたいときは参考文献を見て下さい。

#### 【参考文献】

- [1] Manou Ghanevati “Fundamentals of RF and Microwave Circuit Design 2nd ed.” pp.45-47
- [2] <https://wireless-square.com/2016/11/01/s-parameters-with-ltspice/>
- [3] 富井里一, ziVNAu を製作するに至った動機, RFワールド No.35, pp. 12-19.
- [4] 市川, 高周波回路設計のための S パラメータ詳解, CQ 出版社
- [5] 草間裕介, 小松直樹, 関洋平, 藤田春輝, ``ステップドインピーダンスローパスフィルタの設計と製作に関する一検討,`` 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 37, MW2019-12, pp. 13-18 (2019.5)