

電子回路シミュレータ 第5,6回

電子回路シミュレータ

- 電子回路シミュレータは、物理的に実験回路を組まなくても、電子回路の動作を確認できるソフトウェアツール
- 回路図を作成するだけで、回路の動作確認ができる
- 各種素子のモデルが用意されていて、このパラメータを使って、物理的な回路の動作を、コンピュータ上に再現
- アナログ回路のシミュレータとして、昔から有名なものが、SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
- SPICEは、1970年代前半頃に、カリフォルニア大学バークレー校で開発が始まったもの
- 現在は、多くの派生があり、フリーで利用できるツールもいろいろある

LTspice

- 初心者にもお勧めの定番の電子回路シミュレータのフリーソフトウェア
- LTspiceは, Linear Technology社(現在はAnalog Devices社の一部)が開発
- SPICEシミュレータに加え, 回路図入力, 波形ビューワなどを含む統合環境を提供
- 各種素子のモデル(シミュレータに使用するデータ)を装備(追加も可能)
- 本授業では, LTspiceを使用

LTspiceのインストール

- 「LTspice」で検索

<https://www.analog.com/ltspice-simulator> ⋮

[LTspice | 設計支援 | アナログ・デバイセズ - Analog Devices](#)

LTspice®は高性能なSpiceシミュレーション・ソフトウェアで、回路図入力、波形ビューワに改善を加え、スイッチング・レギュレータのシミュレーションを容易にするため ...

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

LTspiceのインストール

企業情報

myAnalog

製品

アプリケーション

設計支援

調べる / 学ぶ

お問合せ

設計支援 > 回路設計 / 計算ツール > LTspice

Print

myAnalog

LTspiceウェビナー

検索 (設計支援)

シミュレーションモデル

リファレンス設計

評価用ハードウェア & ソフトウェア

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

• Cybersecurity

LTspice

高速、無料、無制限

LTspice®は高性能なSpiceシミュレーション・ソフトウェアで、回路図入力、波形ビューワに改善を加え、スイッチング・レギュレータのシミュレーションを容易にするためのモデルを搭載しています。LTspiceとアナログ・デバイセズの多くのスイッチング・レギュレータとアンプに対応するマクロモデル、そして一般的な回路シミュレーションのためのデバイスライブラリをここからダウンロードできます。

技術的なお問い合わせについては、[お問い合わせフォーム](#)からお願いいたします。

LTspiceのダウンロード

以下のOSに対応したLTspiceシミュレーション・ソフトウェアをダウンロードできます。

モデルの更新日: 2023年01月30日

Windows 7、8、10の64ビット版をダウンロードバージョン 17.1.6

MacOS 10.14以降用LTspiceをダウンロードバージョン 17.0.42

Download LTspice XVII for Windows (End of Support)

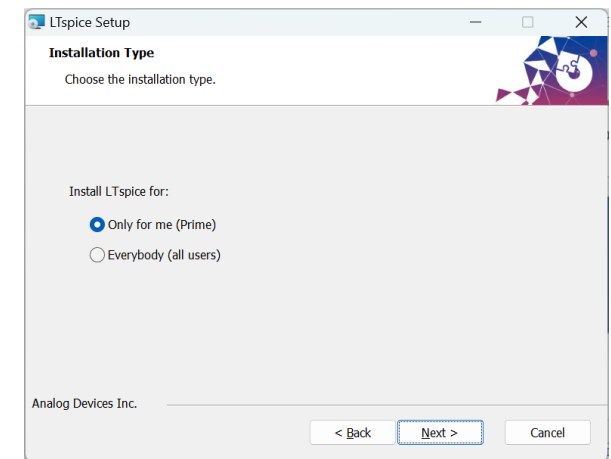
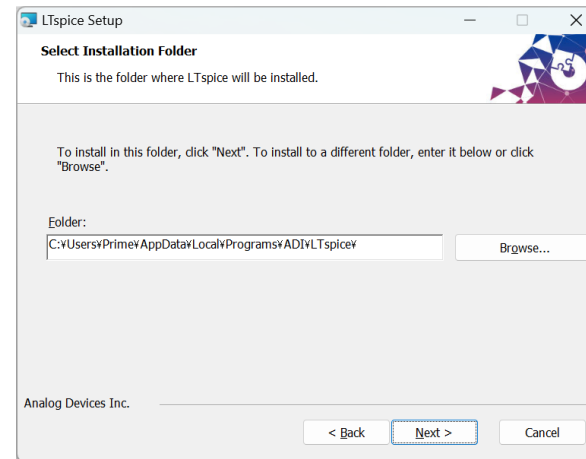
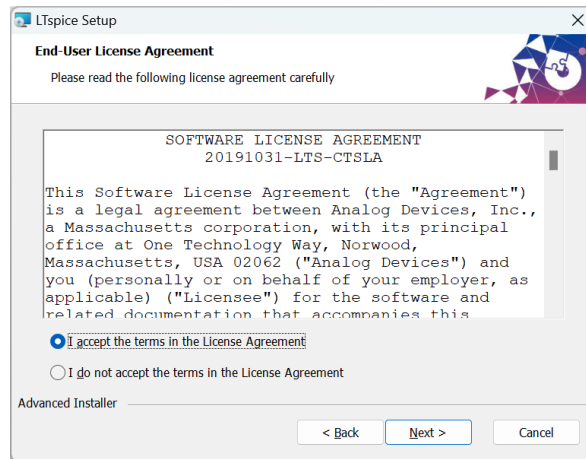
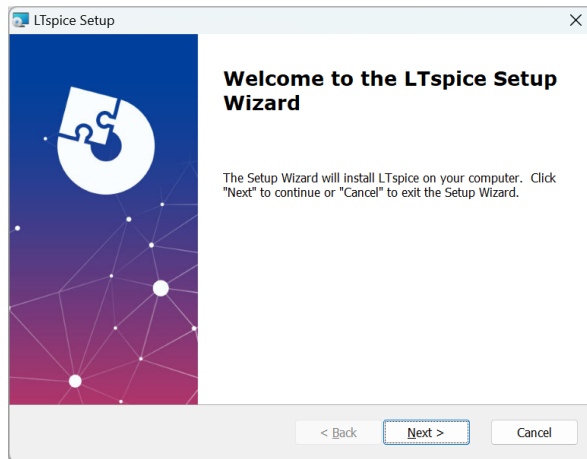
Windows XP用 ダウンロード (サポートは終了しております)

MacOS 10.9用LTspiceをダウンロード (サポートは終了しております)


Give Feedback

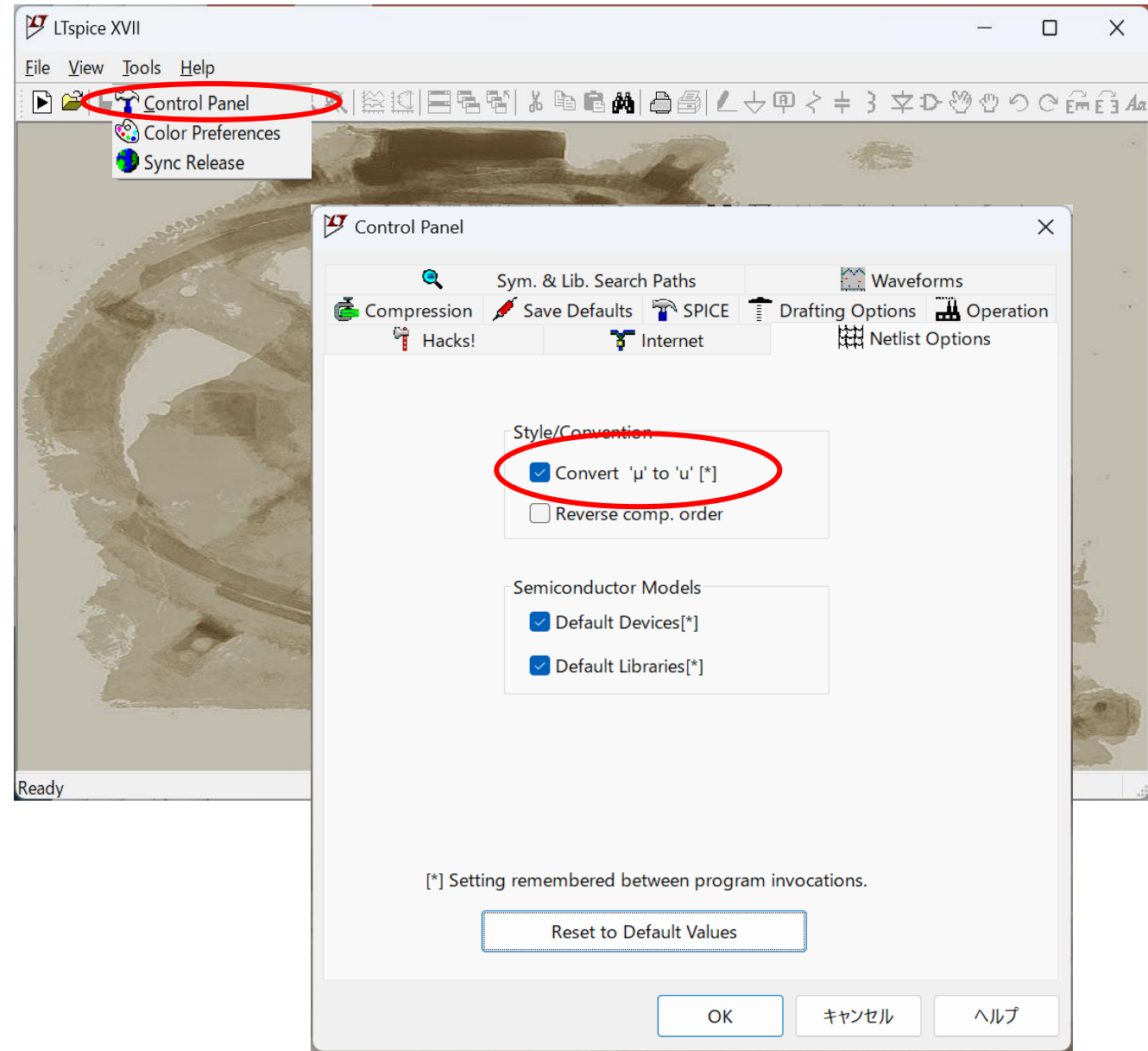
LTspiceのインストール

- 保存先を指定してダウンロードが完了したら, 「LTspice64.msi」をダブルクリックして実行
- ライセンスは, 「I agree the terms in the License Agreement」を選択
- インストール先は, デフォルト(提示されたフォルダ)でよい. もしデフォルトがネットドライブの場合はPCドライブに変更
- インストールタイプは, 「Only for me」でも「Everybody」でも, どちらでもよい
- インストールに要する時間は, 数分程度
- インストール完了後に「OK」を選択すると, LTspiceアプリが立ち上がる
- アップデートが提示された場合は承認して実行(時間がかかるので, 急ぐ場合はスキップ)



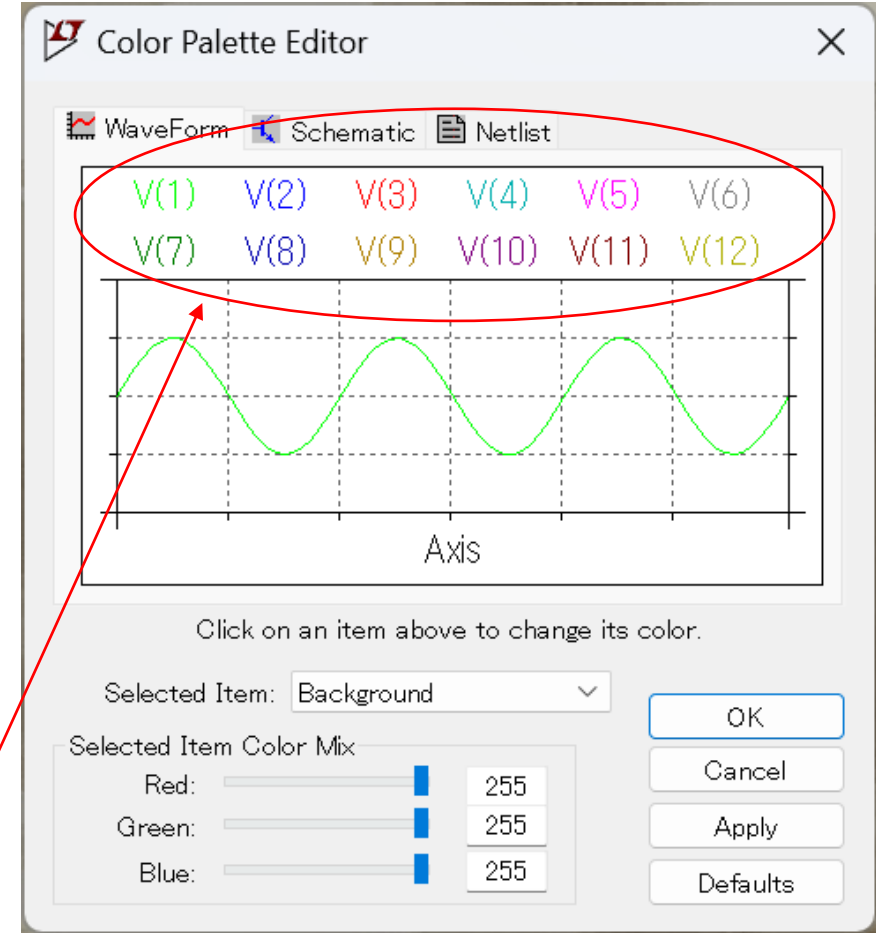
LTspiceの初期設定1

- LTspice起動後, 「Tools」メニューの「Control Panel」を選択(あるいは, ツールバーの  をクリック)
- 「Netlist Options」タブを選択
- 「Convert 'μ' to 'u' [*]」にチェックを入れる(LTspiceは日本語化されていないので, μの文字化けを防ぐため)
- 「OK」を押して設定を保存



LTspiceの初期設定2

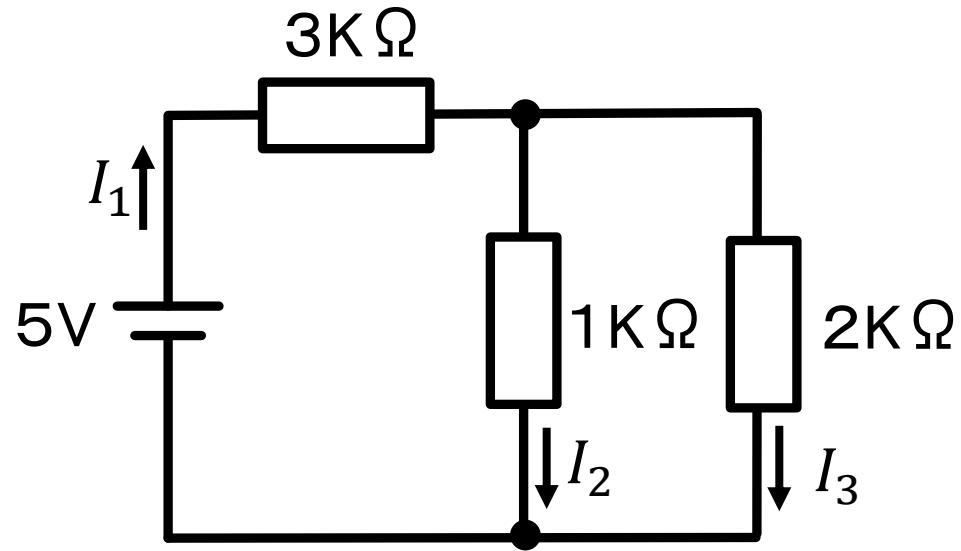
- 「Tools」メニューの「Color Preferences」の「WaveForm」タブを選択
- 「Select Item」で「Background」を選択し、「Selected Item Color Mix」のRGB値をすべて255にする(背景が白色になる, この設定で印刷時に黒インクの消耗を防げる)
- 「Select Item」で「Axis」を選択して、「Selected Item Color Mix」のRGB値をすべて0にする(グラフ軸が黒色になる, 背景を白色に変更したための対応)
- 同じく「Select Item」で「Trace V(1)」から「Trace V(12)」を順に選択して, RGB値がすべて0のもの(白色)があったらスライダをマウスで鵜誤解して白色以外にする(背景を白色に変更したための対応), **ここに白文字が無ければ対応不要**
- 「OK」を左クリックして設定保存
- 以上が完了したら, 一旦, アプリを終了




使用法

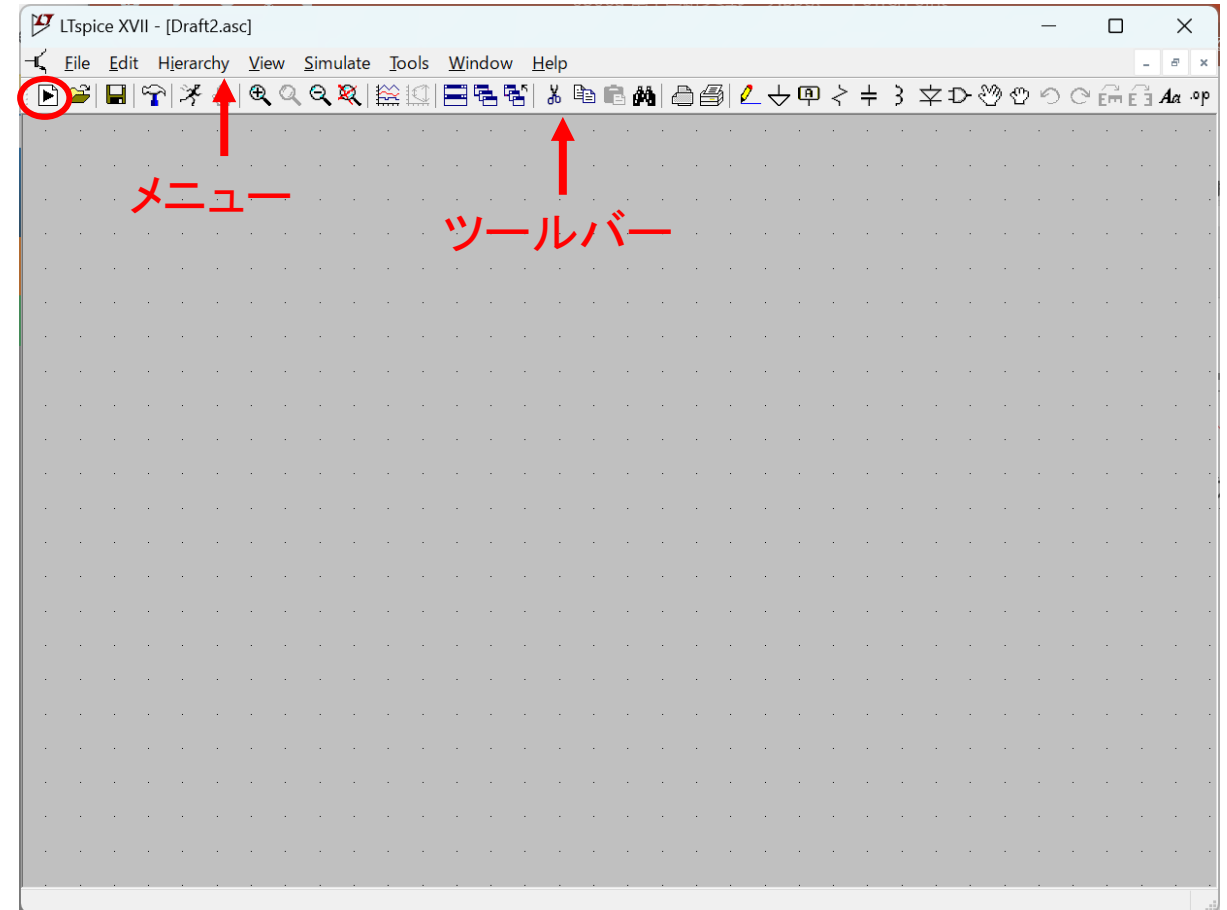
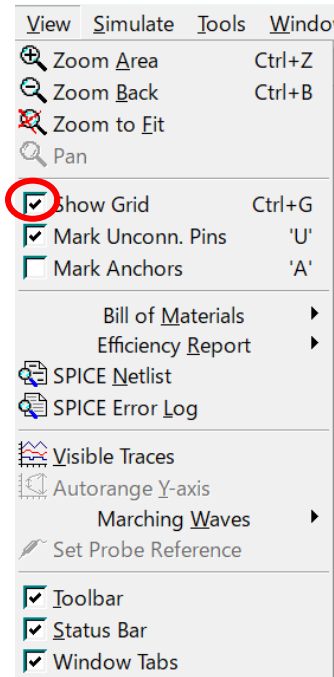
0506a

- 以下のサンプル回路を例に回路シミュレーションする方法を説明






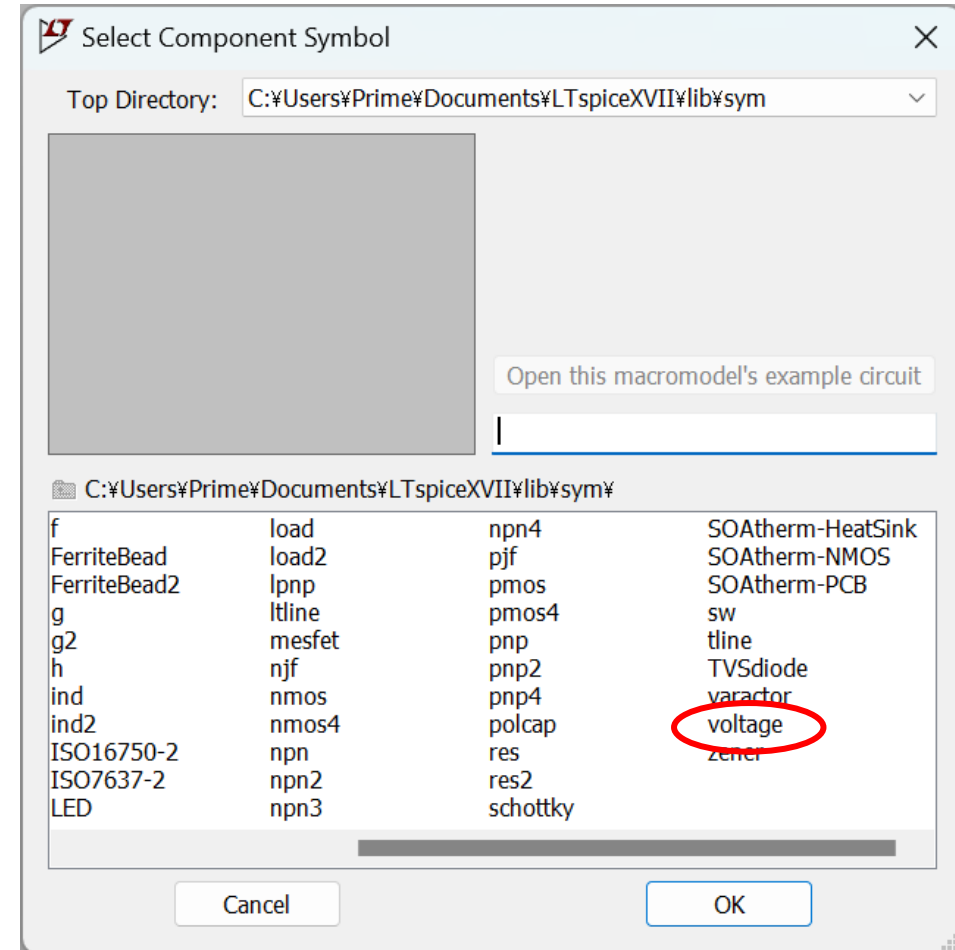
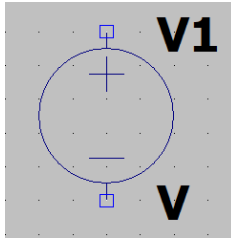
回路図入力

- WindowsメニューからLTspiceを起動(あるいは, デスクトップ上のLTspiceのショートカットをダブルクリック)
- メニュー下のツールバーの  を左クリック(あるいは, 「File」メニューの「New schematic」を選択) ⇒ 回路図ウィンドウが開く
- 「View」メニューの「Show Grid」にチェックを入れる ⇒ グリッドが表示される







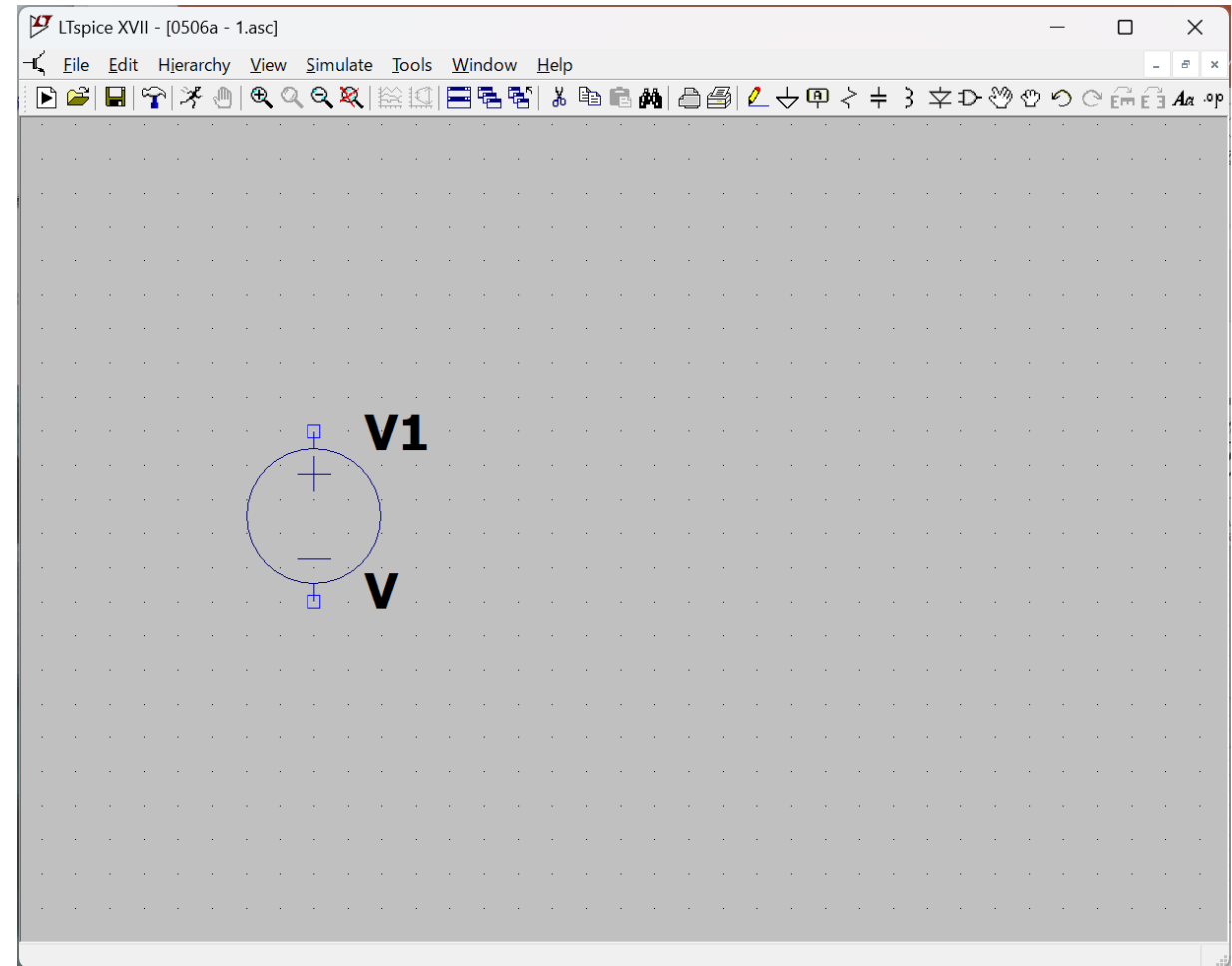
電源の配置

- ツールバーの  を左クリック(あるいは,「Edit」メニューの「Component」を選択)し,「Select Component Symbol」のダイアログを表示し,「voltage」を選択し「OK」をクリック(電源選択法)
- 図面上に, 電源素子が表示されるので, カーソルを良い位置に移動させ, 左クリックして置く
- 複数個, 配置したい場合は, 上記の動作を続ける.
- 素子の配置を終了したい場合は, 「ESCキー」を押す(あるいは, 右クリックする). なお, 他の操作の終了も, 同様の方法で出来る(終了法)
- 間違えて多く配置してしまった場合は, ツールバーの  をクリック(あるいは, 「Edit」メニューの「Delete」を選択)して, 削除したい素子のところに  を移動させ, 左クリックする(削除法). 終了は, 上記の終了法で行う





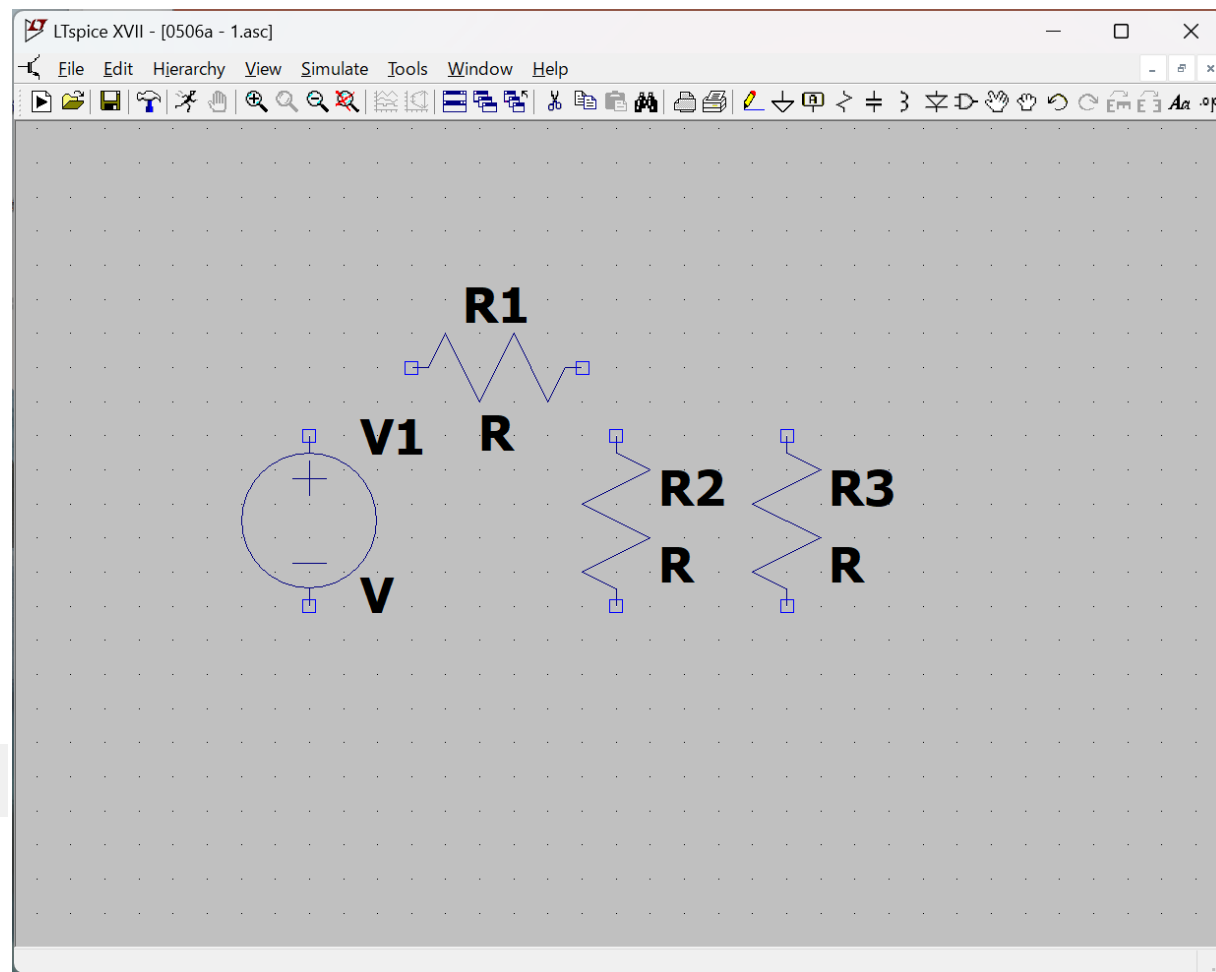
電源の配置

- 一旦配置した場所を変更したい場合は、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューの「Move」を選択)し、移動させたい素子をドラッグして適当な位置で左クリックする(移動法)
- 回路図全体の縮尺を変更したい場合は、マウスのトラックボールを回す(あるいは、ツールバーの   を左クリック)して調整する(表示サイズ変更法)
- なお、ツールバーの  をクリックすると、ウィンドウサイズに合わせて、中央に、ほどよい大きさに自動で調整してくれる(表示サイズ自動変更法)







抵抗の配置






- ツールバーの  を左クリック(あるいは, ツールバーの  をクリックまたは「Edit」メニューの「Resistor」を選択して「Select Component Symbol」のダイアログを表示して「Res」を選択し「OK」をクリック)(抵抗選択法)
- 電源と同様に, 抵抗が表示されるので, カーソルを良い位置に移動させ, 左クリックして部品を置く
- 抵抗の向きを変更したい場合は, 配置する前に, 「CTRLキー」と「Rキー」を同時に押す. 1回押す毎に, 反時計回りに90度回転する(素子回転法)
- 抵抗を複数置く場合は, 同じ動作を繰り返し, 配置を終了する場合は, 前述の終了法を用いる
- その他の操作も, 電源の配置と同様にできる

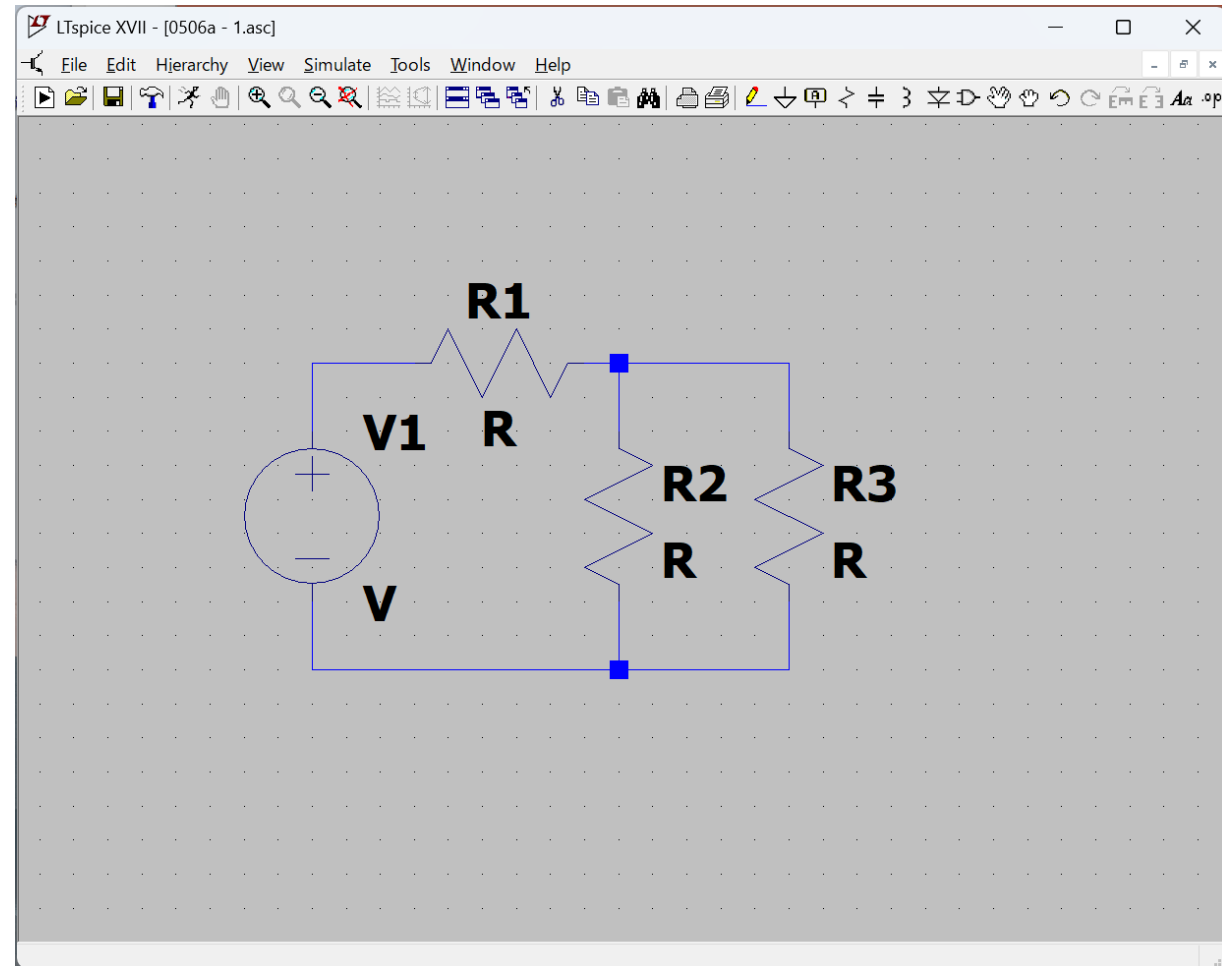


その他の素子の配置


- コンデンサを選択したい場合は、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューの「Capacitor」を選択) ([コンデンサ選択法](#))
- コイルを選択したい場合は、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューの「Inductor」を選択) ([コイル選択法](#))
- ダイオードを選択したい場合は、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューの「Diode」を選択) ([ダイオード選択法](#))
- その他の素子を選択したい場合は、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューの「Component」を選択)し、表示されたダイアログ中のリストから素子名を探す ([各種素子選択法](#))

配線

- ツールバーの  を左クリック(あるいは, 「Edit」の「Draw Wire」を選択)
- 接続元の素子の端子の  にカーソルを合わせて左クリックして配線を開始, 接続先の  にカーソルを合わせて左クリック. これで, 接続完了(配線法)
- 途中で配線を曲げたい場合は, 曲げたい場所で左クリック
- 配線を削除したい場合は, 削除法を使用
- 配線の終了は, 終了法を使用
- 配線が交差しているだけでは, 絶縁状態
- 導通させるときには, 交差した場所で左クリックする
- 接続箇所(導通)は  マークが表示される
-  マークが無い箇所は未接続(絶縁)
- 以上で, サンプル回路の入力が, ほぼ完了

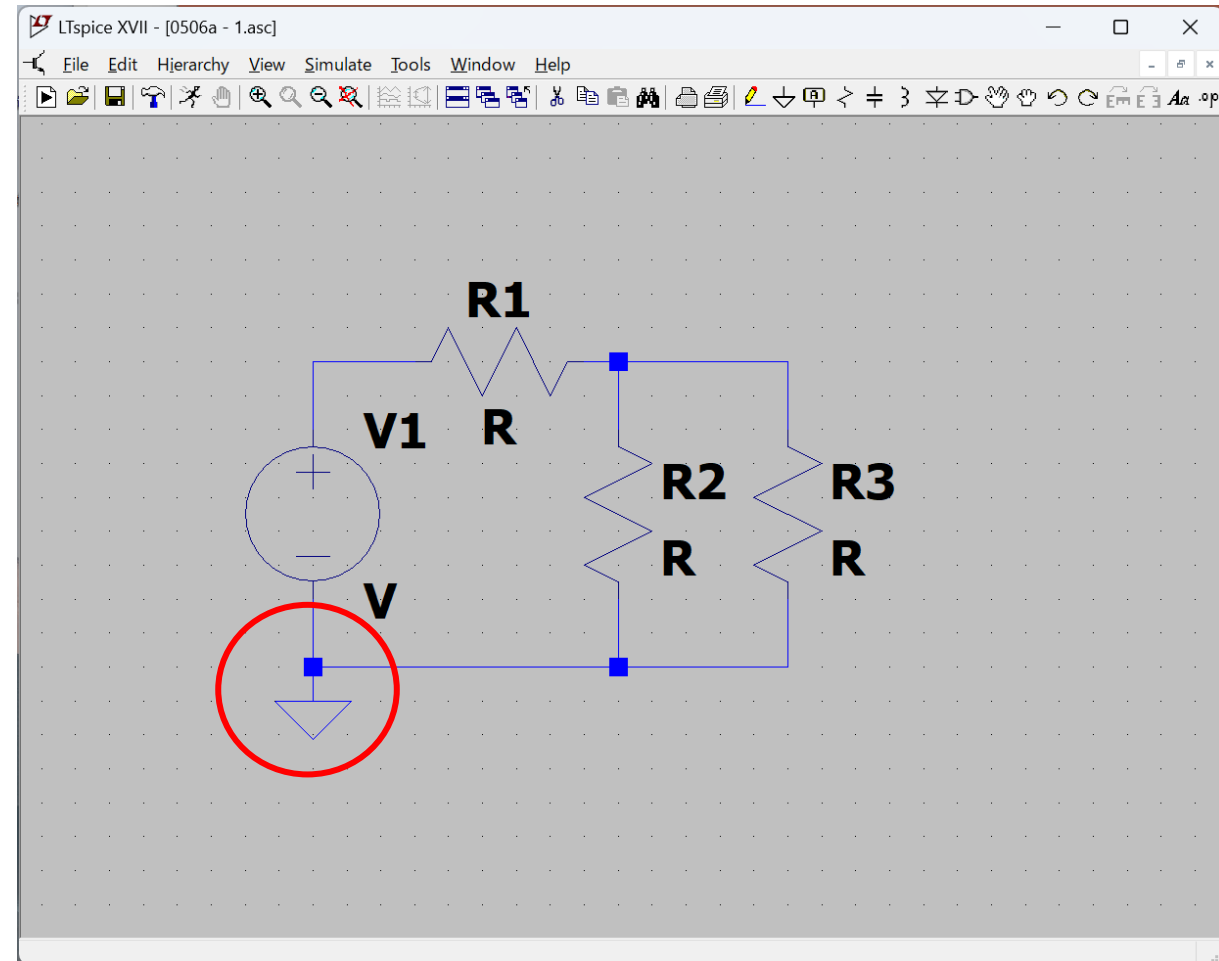


GNDの配置

- シミュレーションを行うためにGNDを配置する
- このために、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」の「Place GND」を選択)
(GND選択法)
- 図にあるように配置し、作成済みの回路に接続する
- 配置場所や接続先は、どこでもよいが、GNDの配置は、LTspiceでは必須事項
- 無いとシミュレーションができないので、回路図に記載がなくても必ず配置する

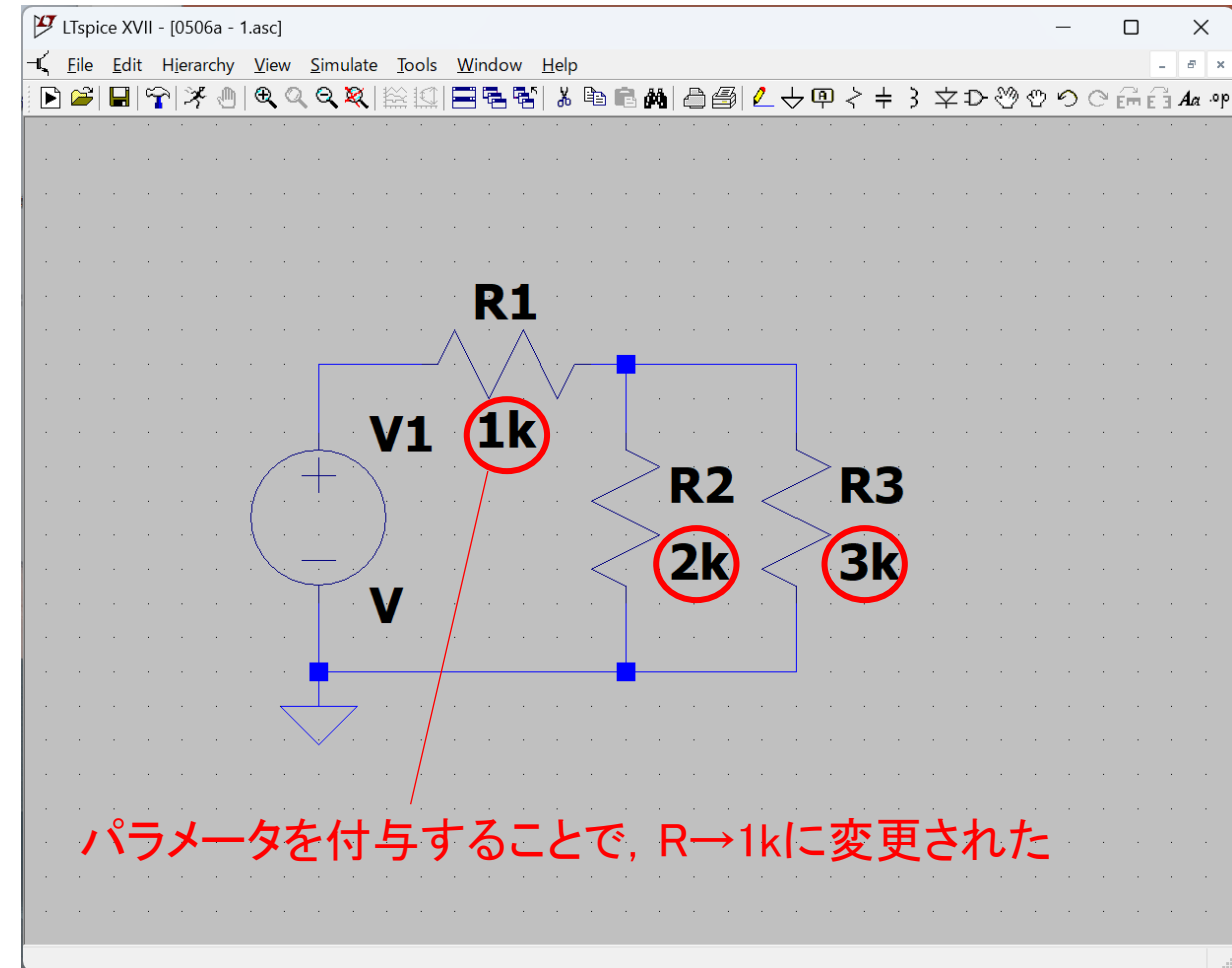


回路図上のGNDの表記




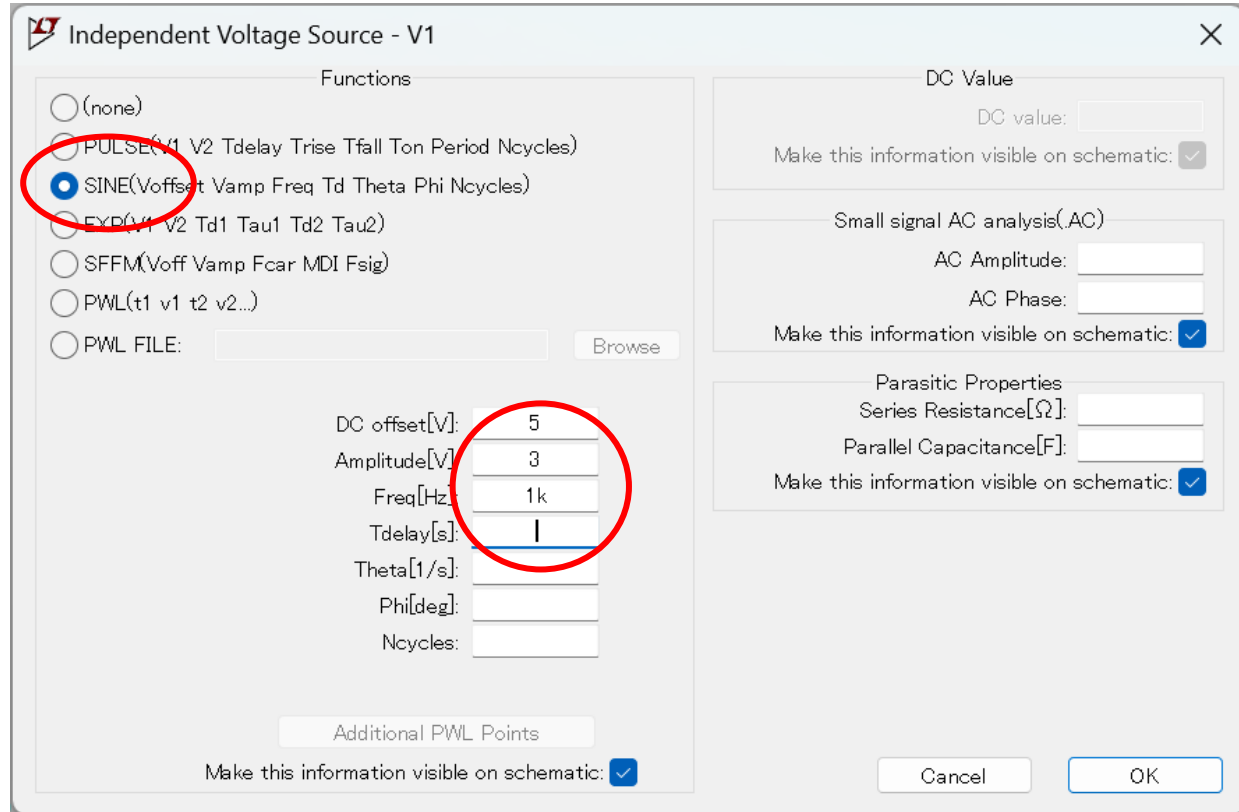
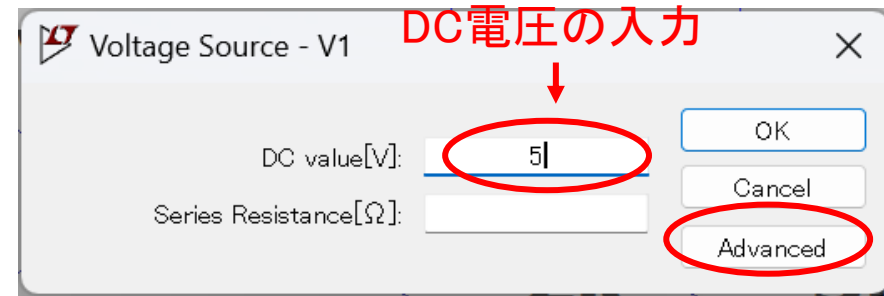
素子パラメータ入力

- シミュレーションのために、素子にパラメータを付与する
- 抵抗R1を例に、抵抗のパラメータを設定する方法を説明する
- 抵抗R1の下にあるRのところで右クリックすると、「Enter new Value for ...」ダイアログが表示されるので、1kΩを示す「1k」を入力して「OK」を左クリックする
- 抵抗R2, R3も同様に入力
- 数値の単位に、k(Kも可), Meg(Mのこと), u(μのこと), pなどが使用可能



素子パラメータ入力

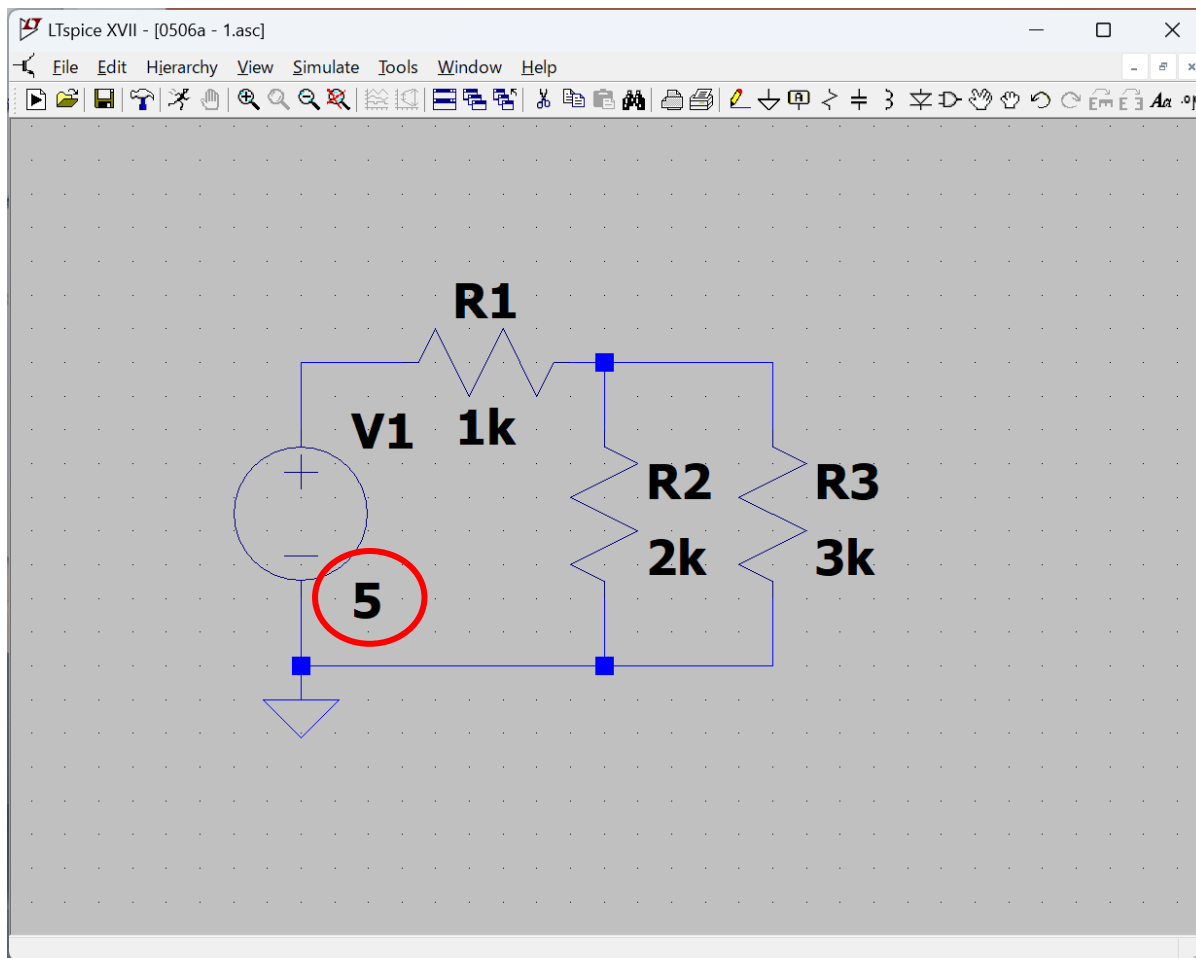
- 電源の場合は、電源にカーソルを合わせ、が表示されたら右クリック
- 「Voltage Source」ダイアログが表示されたら、DC電圧を入力して、「OK」をクリック
- AC電圧を入力する場合は、「Advanced」をクリックして、「Independent Voltage Source」ダイアログを表示
- 右図にあるように、「SINE」を選択し、値を入力(図は、 $\pm 3V$ の正弦波(V_{p-p} が $6V$)、DCオフセットが $5V$ 、周波数 $1kHz$ の例)
- 使用しないものは空白のままでよい(DCオフセットが 0 の場合も空白でよい)



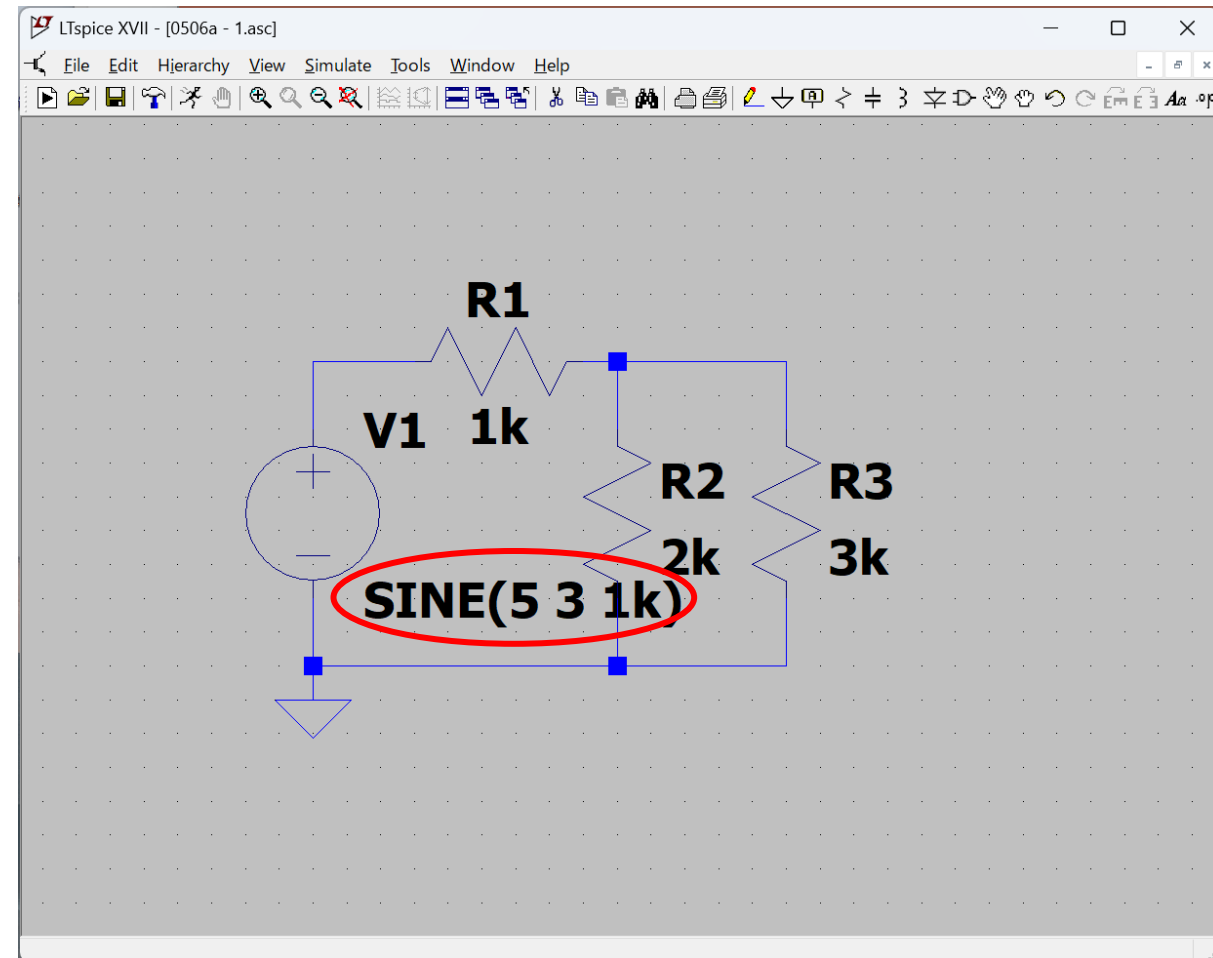
回路図入力

0506b

- 以上の作業で, 以下のような回路図が完成する



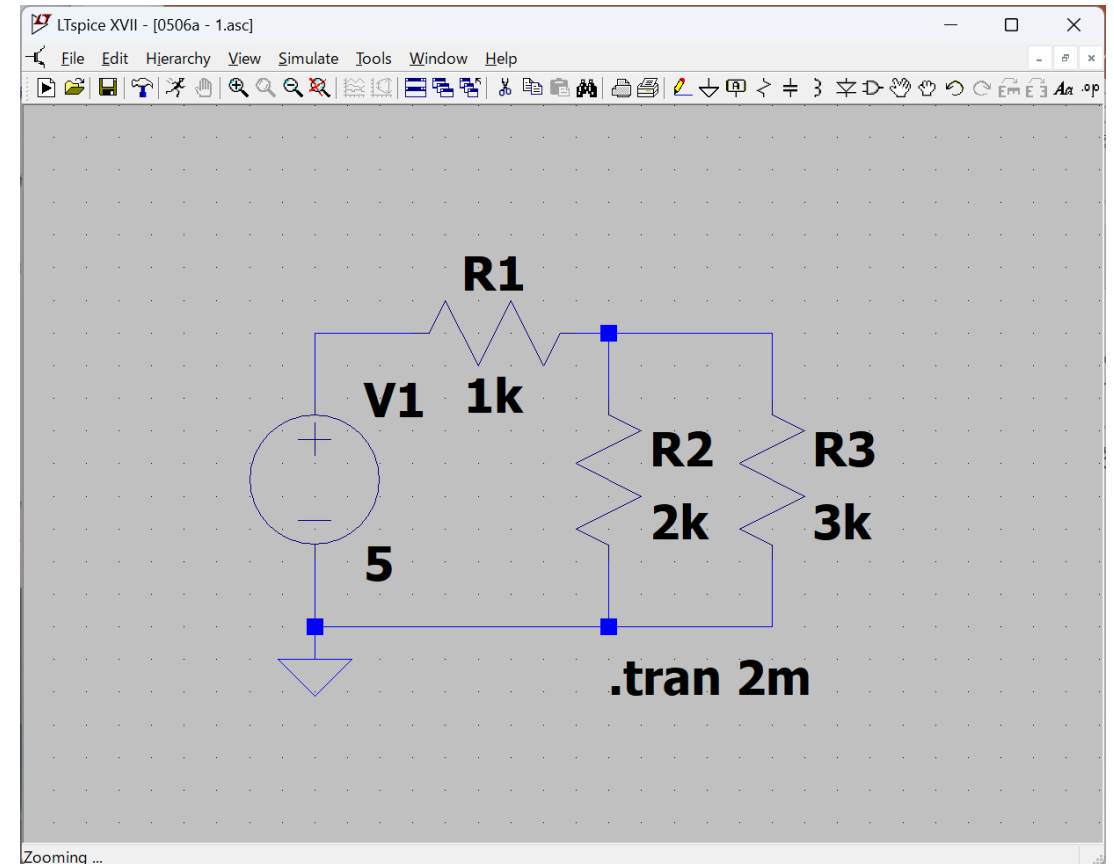
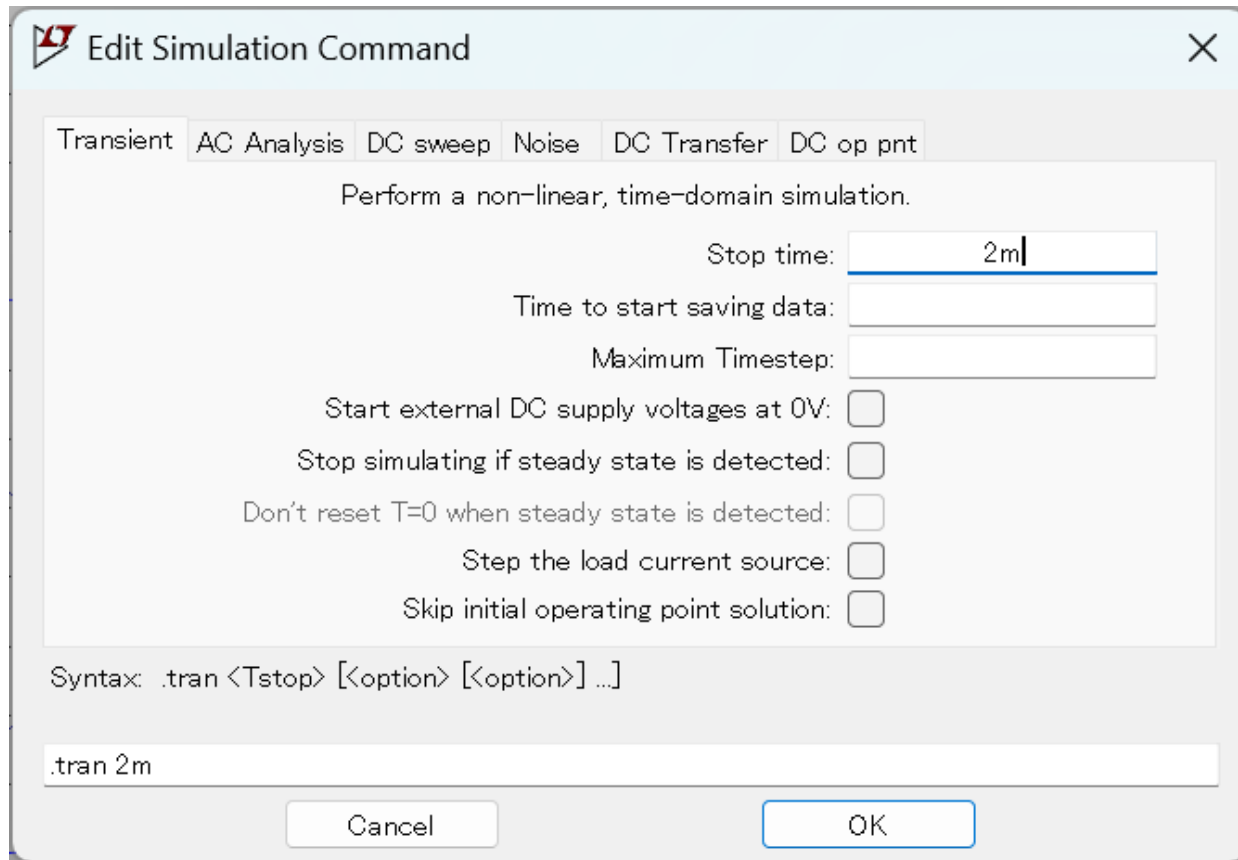
前頁のDC 5Vの場合



前頁のAC 5±3V(1kHz)の場合

シミュレーション

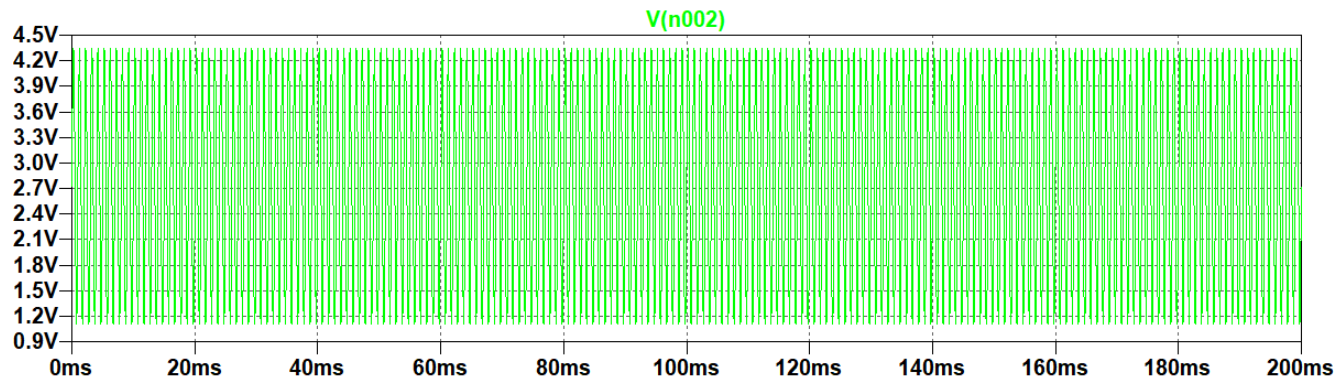
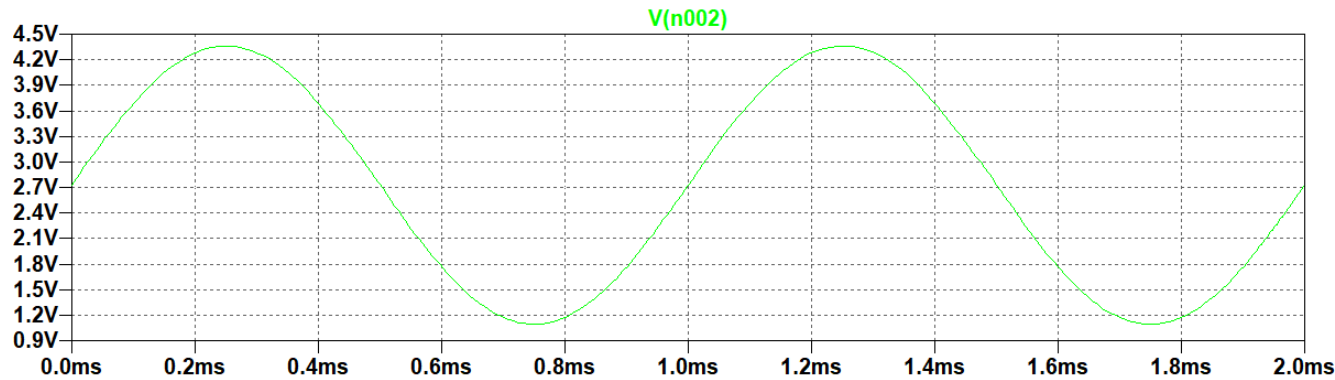
- 「Simulate」メニューの「Edit Simulation Cmd」の「Transient」タブを選択
- 「Stop time」にシミュレーション時間を入力(下例は2msを設定)して「OK」をクリック
- 「.tran」で始まる文字が現れるので、回路図上の配置を希望する場所で左クリックして配置



シミュレーション時間

0506c

- 「Stop Time」は、何秒間シミュレーションするかを設定するもの
- 直流の場合は時間変化がないので値はいくつでもよいが、交流の場合は重要パラメータ
- 周波数 f と周期 t の関係は、 $f \times t = 1$
- 周波数1kHzの場合、1周期は1ms($=1/1k$)になる。2周期を表示したい場合は、2倍の2msが必要。Stop Time=2msと入力して「OK」を左クリックする




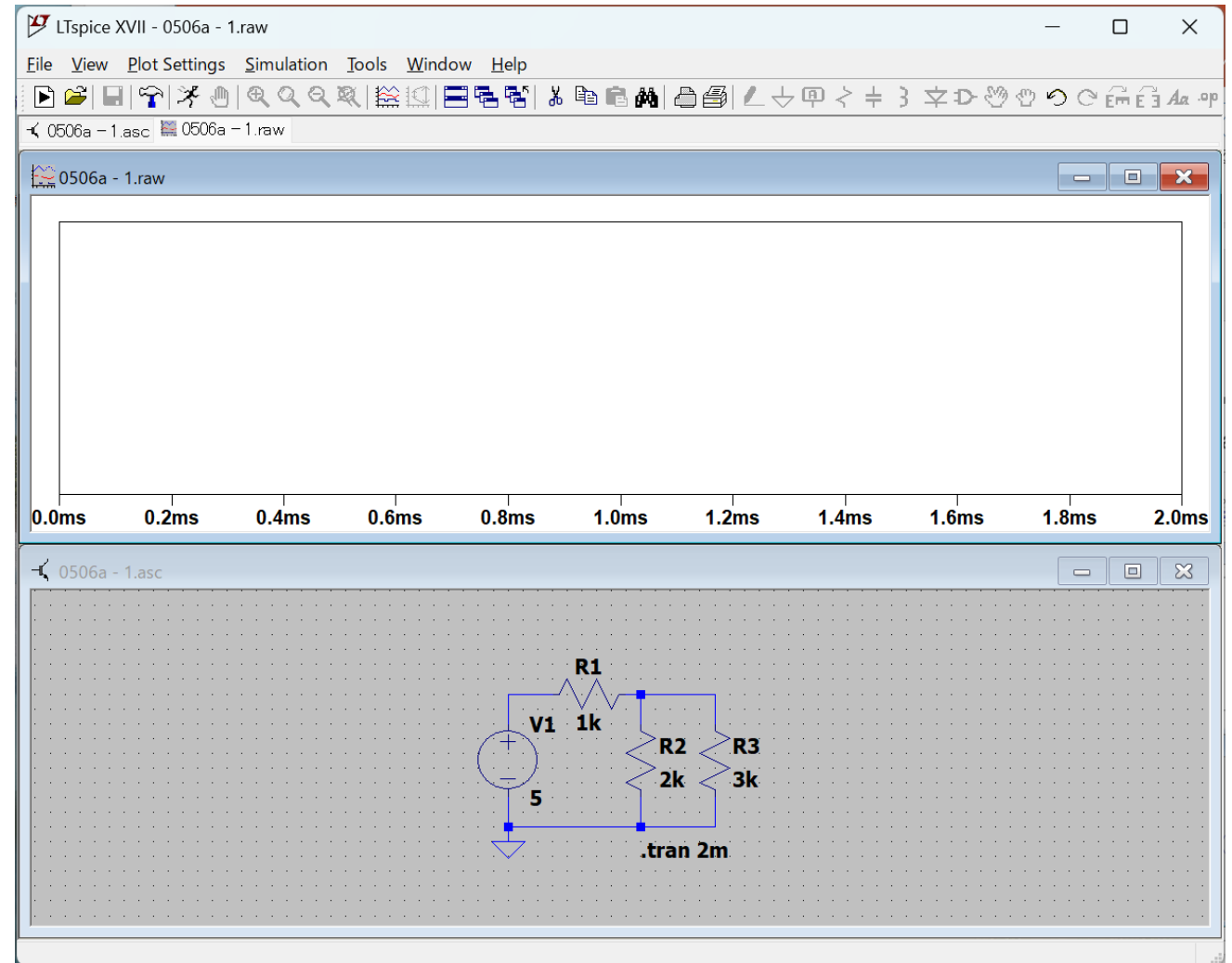
同じ回路のシミュレーション
時間を変えた場合の違い

上側: 2ms



下側: 200ms

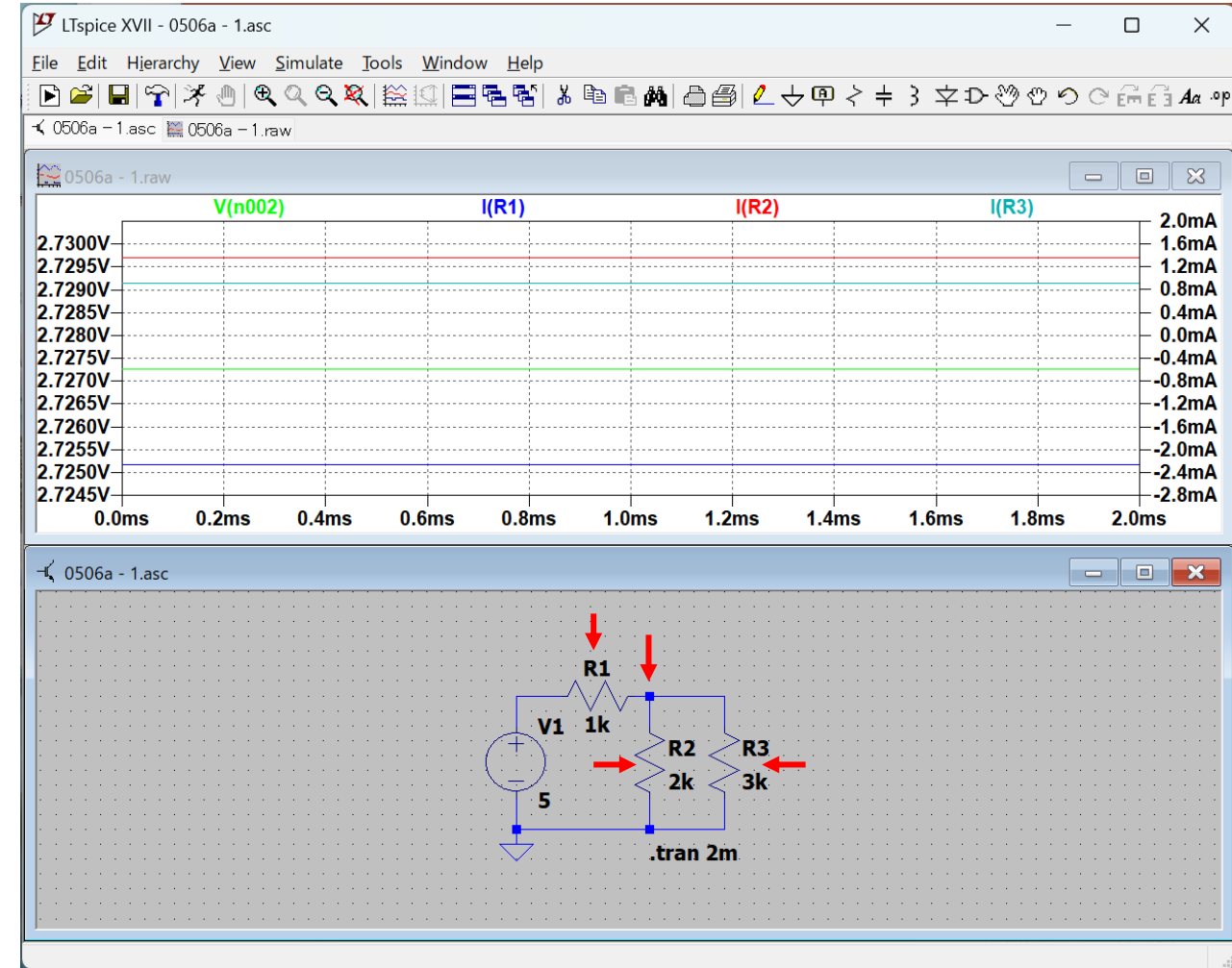
シミュレーション

- ツールバーの  を左クリック(あるいは, 「Simulate」メニューの「Run」を選択)
- 右図のように, ブランクのグラフ・ウィンドウが表示される




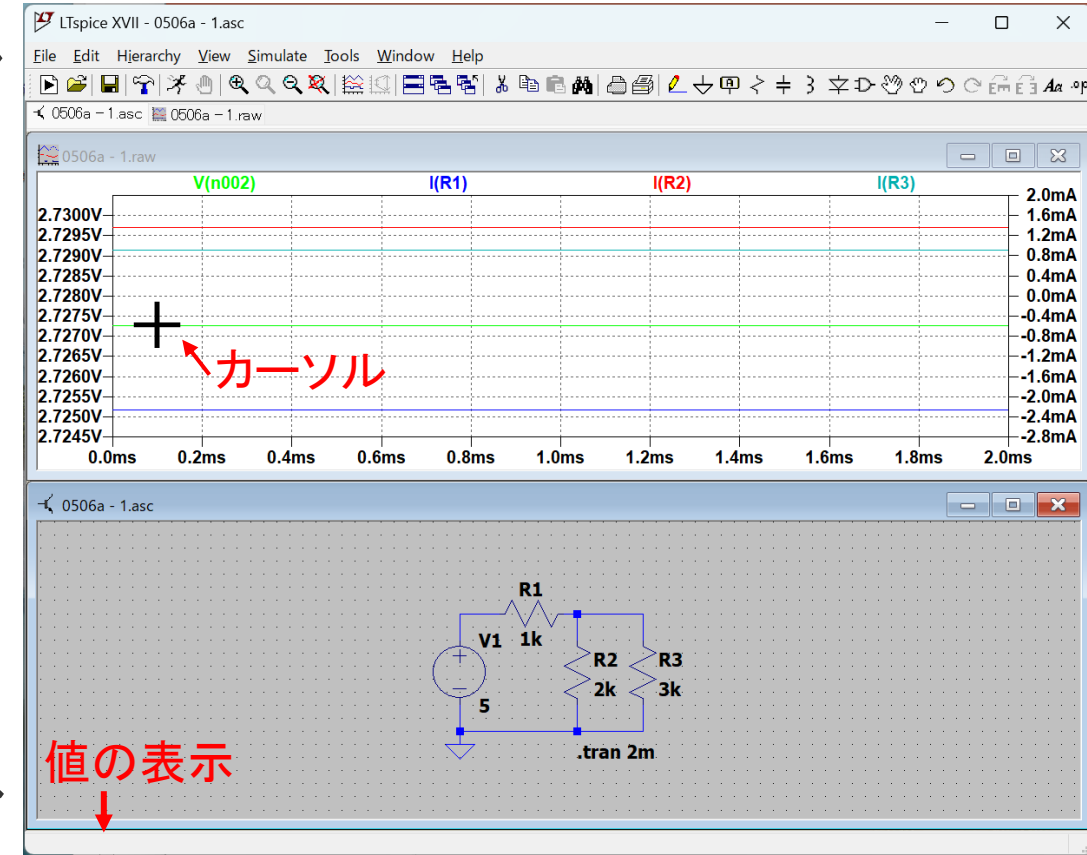
シミュレーション

- 回路図上で波形を見たい箇所にカーソルを移動させて、左クリック
- 電圧プローブ  が表示されていると、電圧を表示
- 電流プローブ  が表示されていると、電流を表示(「ALTキー」を押すことで電圧プローブを電流プローブに強制的に変更可能)
- 右図は、↓の電圧V(n002), R1の電流I(R1), R2の電流I(R2), R3の電流I(R3)を重畳表示
- 電圧のスケールが左軸, 電流のスケールが右軸に表示
- グラフ・ウィンドウ内に、グリッド線が表示されない場合は、グラフ・ウィンドウ内で右クリックして、ダイアログを表示させ、「View」のところの「Grid」をチェック



シミュレーション結果の解析

- グラフの値を読み取りには、当該部分にカーソルを合わせる
- そうすると、ウィンドウの左下に値が表示される
- ±は、 表示時の ↓ の向きに依存
- 正確な値を得たい場合は、グラフ・ウィンドウを選択した上で、「File」メニューの「Export data as text」を選択
- フォルダ場所、ファイル名、保存するデータを指定して保存(テキスト形式)
- 出力されたファイルをダブルクリックして値を読む




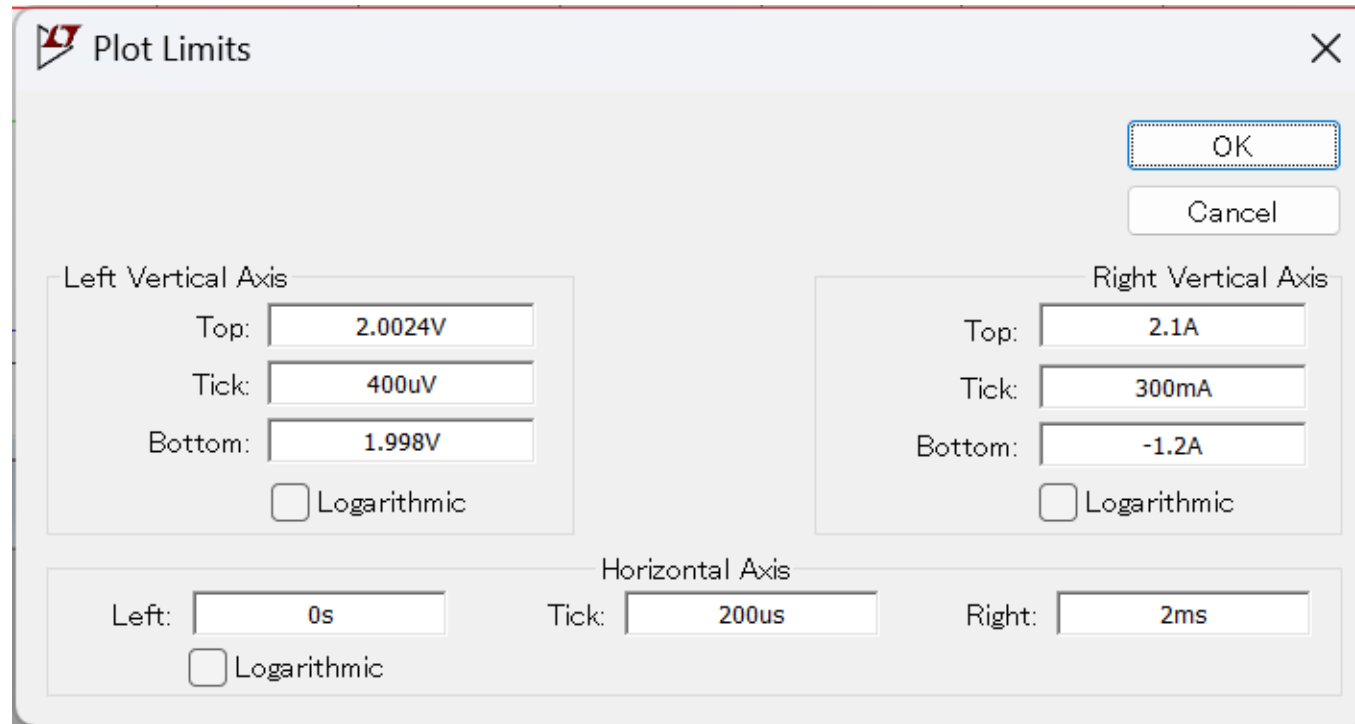
time	V(n002)	I(R1)	I(R2)	I(R3)
0.0000000000000000e+000	2.727273e+000	-2.272727e-003	1.363636e-003	9.090909e-004
1.965450624984442e-003	2.727273e+000	-2.272727e-003	1.363636e-003	9.090909e-004
1.998653749984438e-003	2.727273e+000	-2.272727e-003	1.363636e-003	9.090909e-004
2.0000000000000000e-003	2.727273e+000	-2.272727e-003	1.363636e-003	9.090909e-004

← 指数表示



見やすいように着色

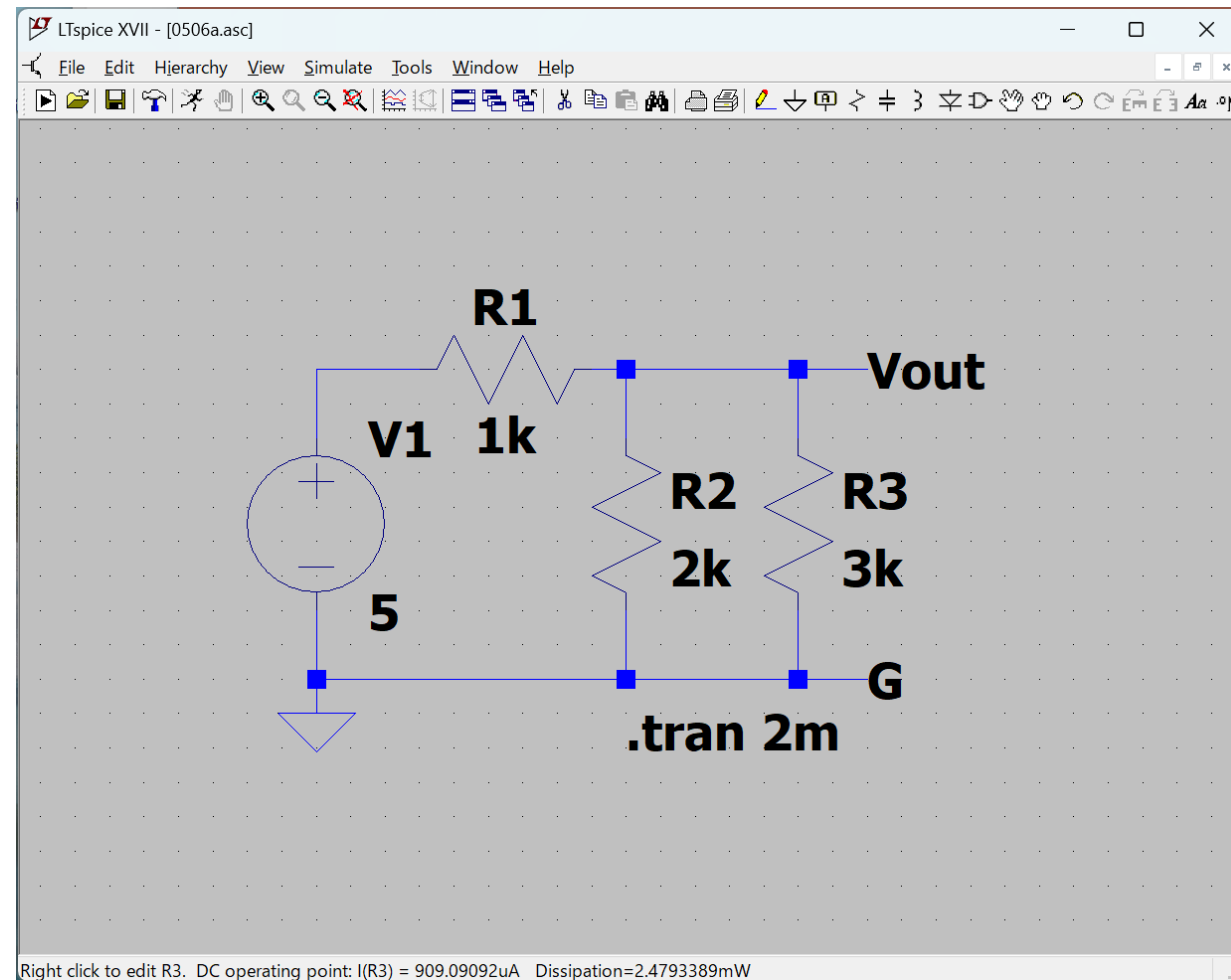
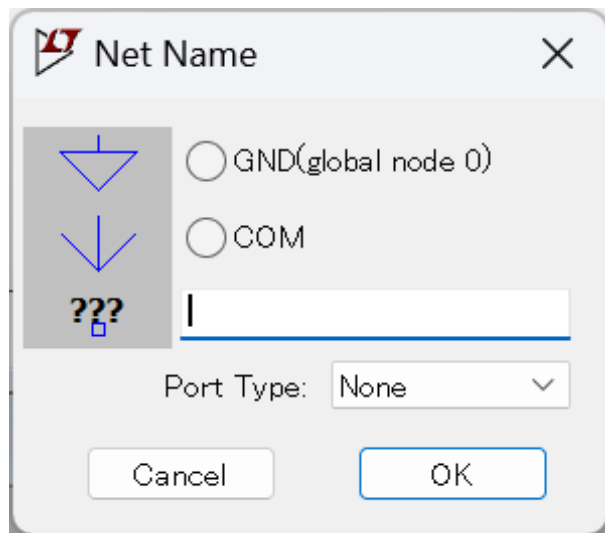
シミュレーション結果の表示

- グラフ・ウィンドウから一部のデータを消去したい場合は、グラフ・ウィンドウを選択した上でツールバーの  を左クリックし、グラフ上部にあるトレース名（例えば、V(n002)など）を左クリックすると消える
- グラフの縦軸は値に応じて、自動でスケーリングが行われるが、変更したい場合は、「Plot Settings」メニューの「Manual Limit」で設定



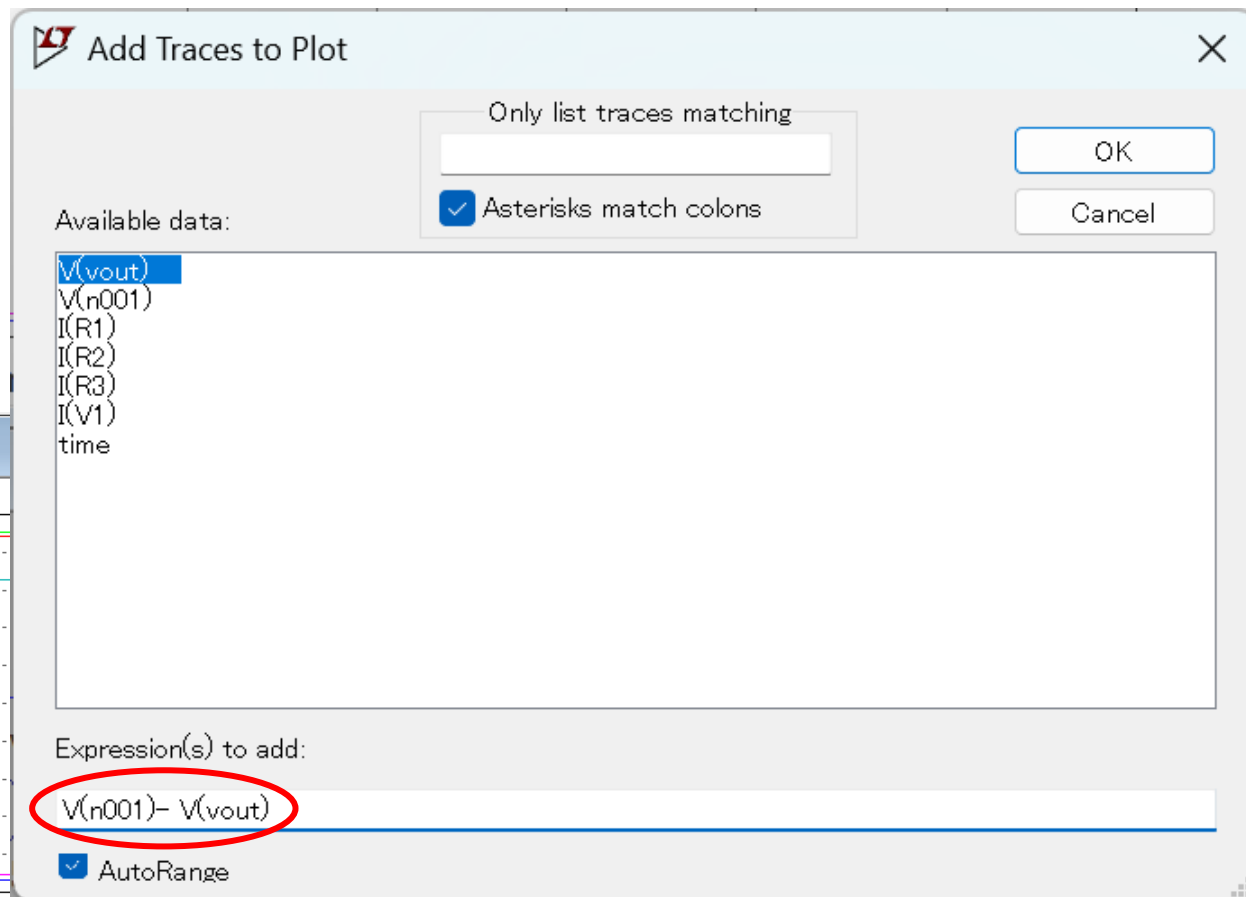
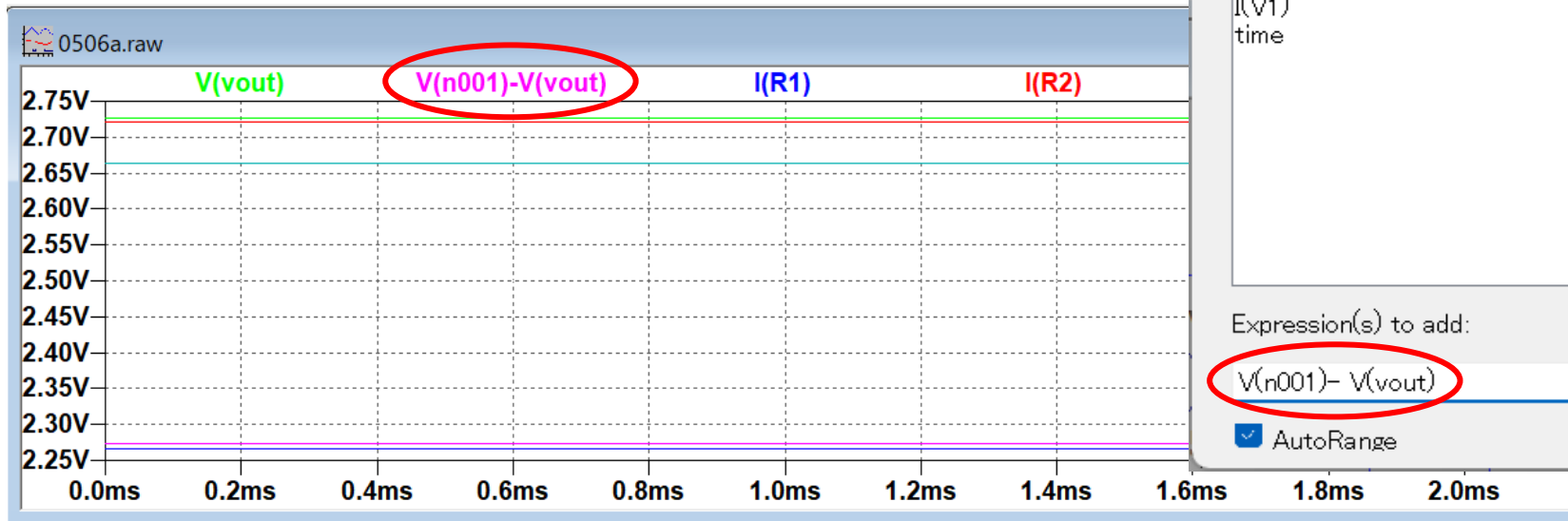
電位差の測定

- 電位差を測定したい場合は、測定箇所にはラベルを付与する
- 回路図ウィンドウを選択した上で、ツールバーの  を左クリック(あるいは、「Edit」メニューのLabel Netを選択)
- ???欄にラベル名を入力して「OK」を左クリックし、置きたい場所で左クリック
- その上で、ラベルの口と回路を  で接続
- 図の例は、サンプル回路に、Vout, Gのラベルを追加



電位差の測定

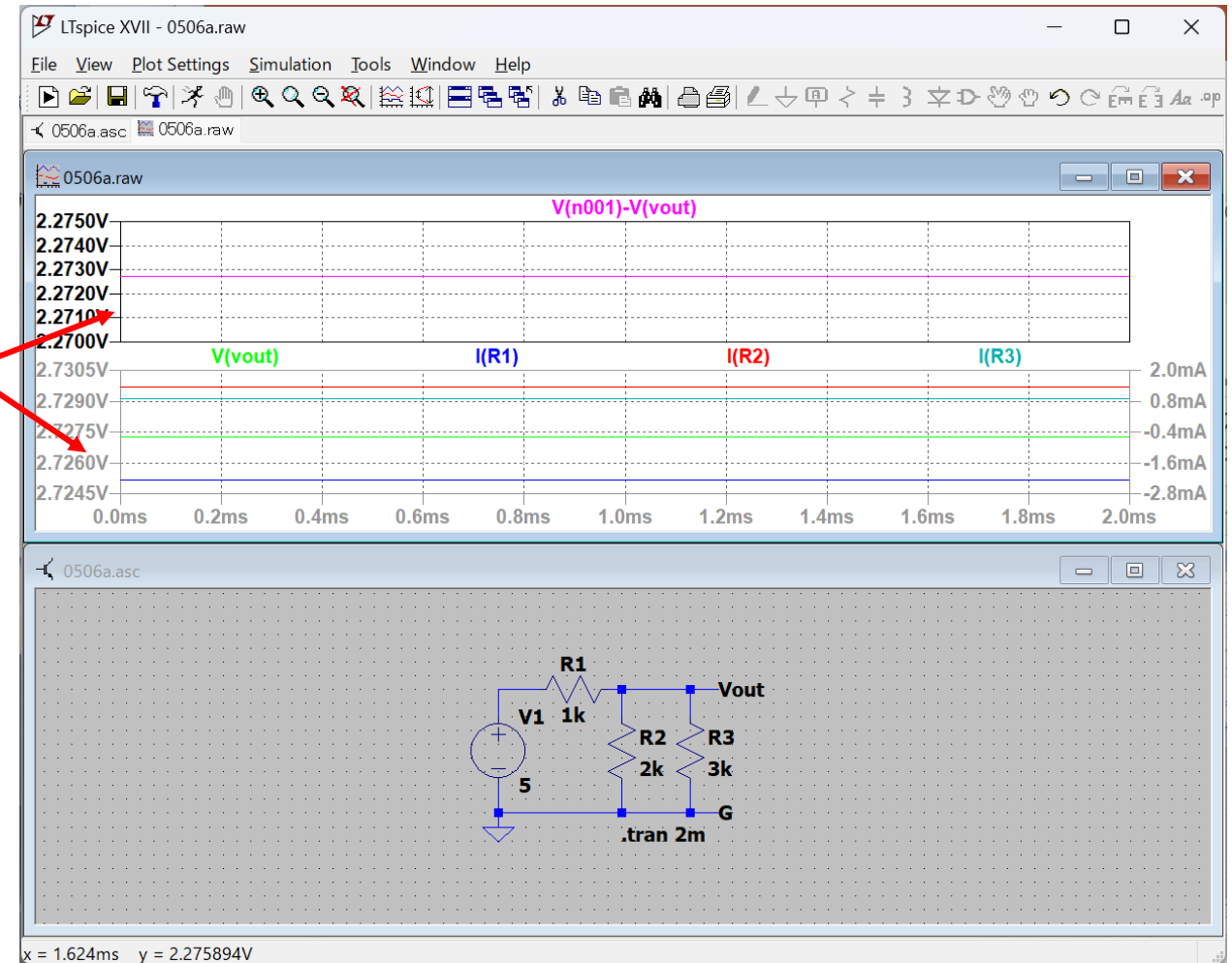
- 「Plot Settings」メニューの「Add trace」を選択，表示されたダイアログ中の「Available data」から測定箇所のラベルを選択し「Expression(s) to add」に求める電位差の式を入力する．例えば， V_{out} は $V(vout)$ と表示されている．算術記号は手入力する
- 入力が終わったら，「OK」を左クリック
- グラフ・ウィンドウ内に結果が描画される
- 「Available data」には，GNDと同じ電位のラベル（この例ではG）は表示されないの
で注意（使う必要がないため）



シミュレーション結果の分離表示

- シミュレーション結果を分けてグラフにしたい場合は、グラフ・ウィンドウ内で右クリックして「Add Plot Pane」を選択(あるいは、「Plot Settings」メニューの「Add Plot Pane」を選択)して、グラフ枠を増やす
- 表示したい枠を左クリックした上で、プローブを使用すると、当該枠上に、結果が描画される



前頁の電位差を
別枠に表示した例



回路図, シミュレーション結果の保存

- 回路図を保存したい場合は, 回路図ウィンドウを選択した上で, 「File」メニューの「Save As」を選択, フォルダの場所, ファイル名を指定して保存する. 拡張子.ascのファイルが出来る. このファイルをダブルクリックすると, LTspiceも起動する
- なお, 「Save」は, フォルダの場所, ファイル名が指定できないので, 2回目以降の保存に使用する
- シミュレーションを保存したい場合は, グラフ・ウィンドウを選択した上で, 「File」メニューの「Save Plot Settings As」を選択, フォルダの場所, ファイル名を指定して保存する. 結果が保存されるわけではないが, 再現可能になる. 拡張子.pltのファイルが出来る
- なお, 「Save Plot Settings」は, フォルダの場所, ファイル名が指定できないので, 2回目以降の保存に使用する

回路図, シミュレーション結果の保存

- 回路図を画像として保存したい場合は, 回路図ウィンドウを選択した上で, ツールバーの  を左クリック(あるいは, 「Tools」メニューの「Copy bitmap to Clipboard」を選択)する
- その上で, 「CTRL」+「v」キーで, ワード等の文書に貼り付ける
- シミュレーション結果を画像として保存したい場合も, グラフ・ウィンドウを選択した上で, ツールバーの  を左クリック(あるいは, 「Tools」メニューの「Copy bitmap to Clipboard」を選択)する
- その上で, 「CTRL」+「v」キーで, ワード等の文書に貼り付ける
- パソコン画面のコピー(「Alt」+「PrtSc」キー)は, ワード等に貼り付けた際に画質が悪くなるので, 使用しない

