

回路図の作成とSPECTREを用いた 種々のシミュレーション

2024年3月 小島作成

- 前準備
- 回路図の編集
- シミュレーション
- シンボル

基本的にvirtuosoをいじって壊れることはないので
便利そうな設定があったら積極的にいじってみてほしい。
また、ショートカットキーは是非利用していただきたい。

それと特に言及しなくてもvirtuoso上の設定を変更した後は
Apply、OKなどを押して設定を保存してからウィンドウを
閉じること。

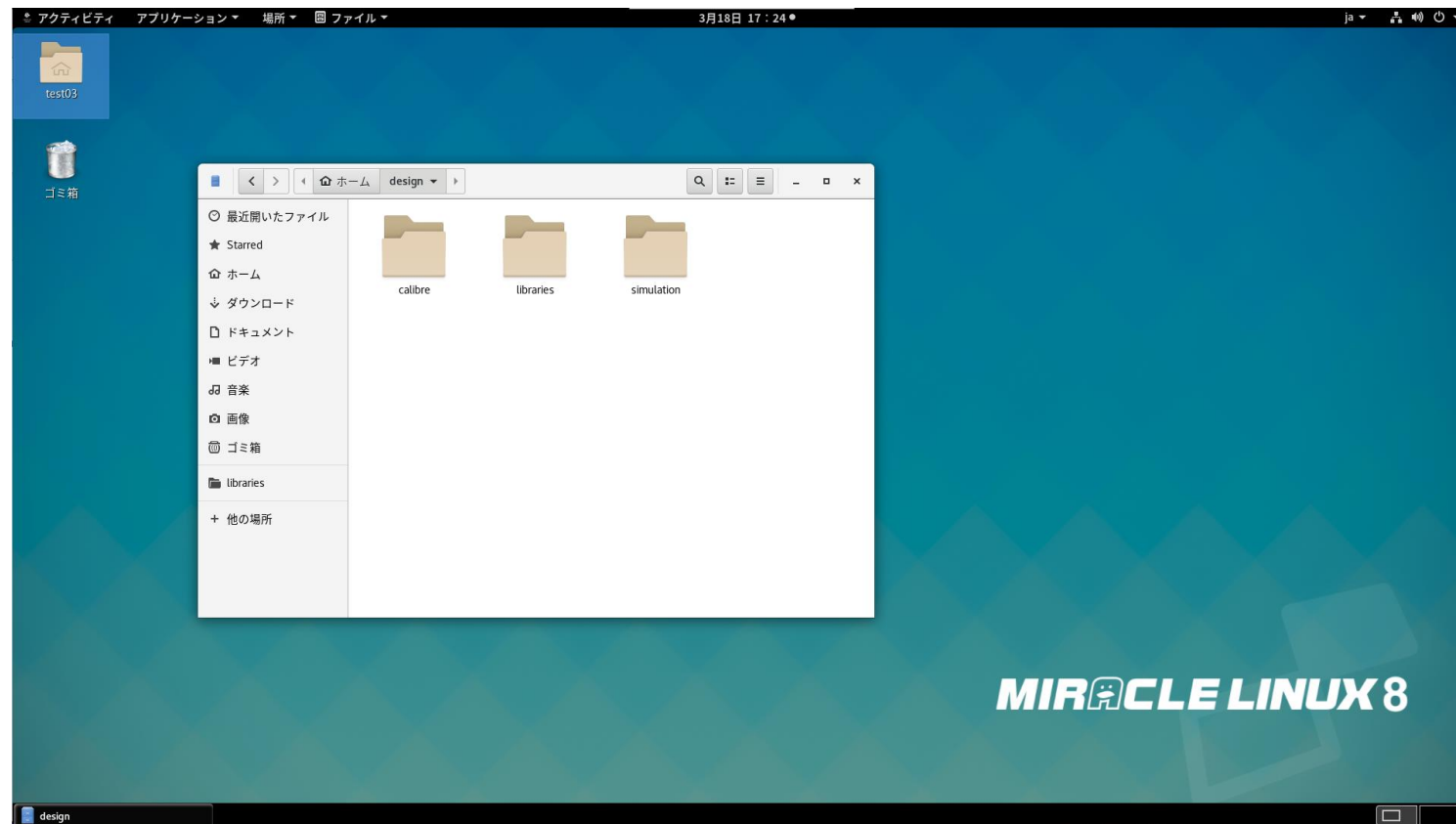
virtuosoの起動

右図のように~/designを開く。
(~/はログインしているアカウントの
ホームディレクトリ)

ライブラリを選択、右クリックし
ターミナル(端末、shellなどともいう)
を開き

\$ virtuoso
を実行する。

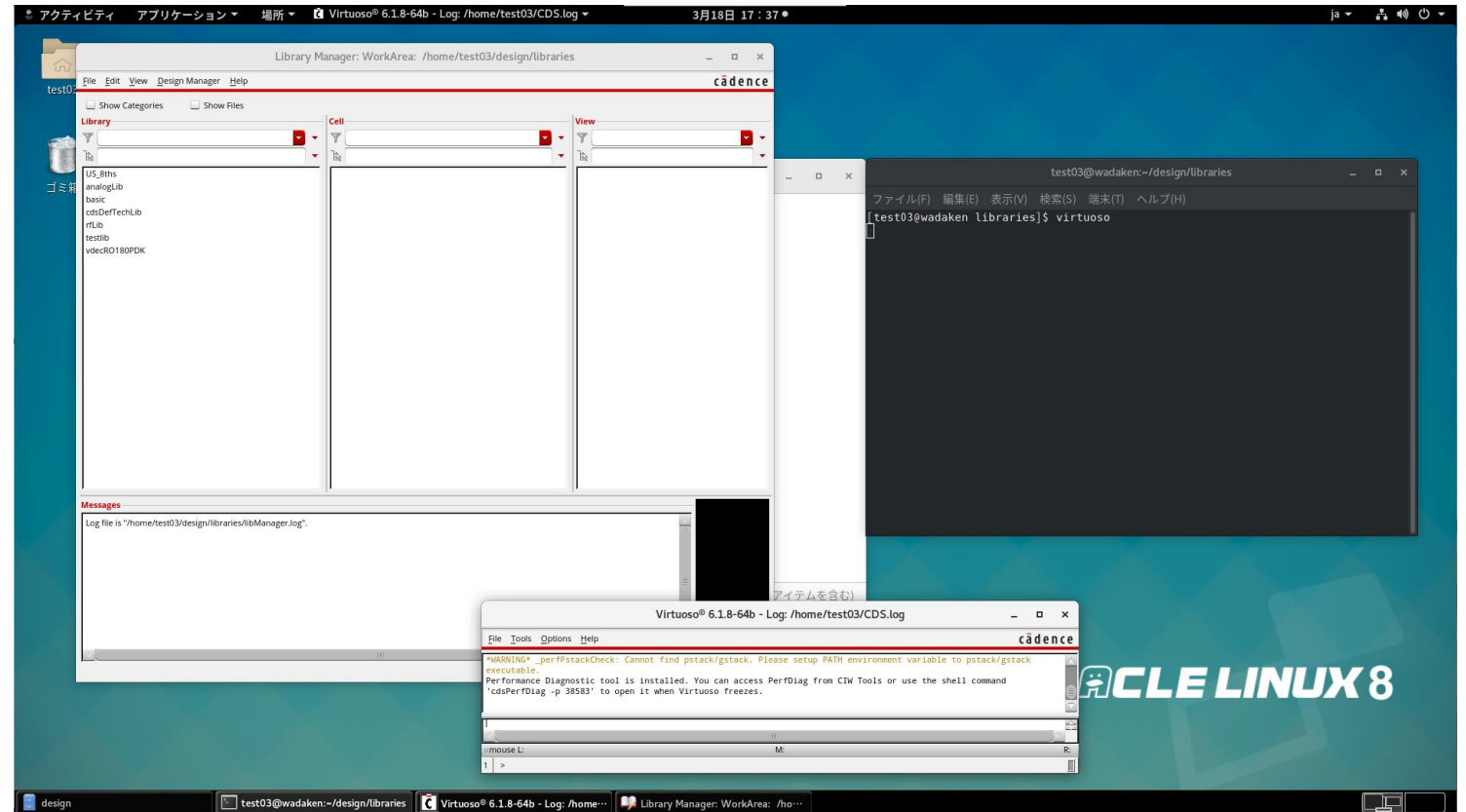
ターミナルの入力待機状態では\$が
先頭に入っているのでターミナルへの
入力例の先頭には\$マークを付す慣習
がある。



virtuosoの起動

Library ManagerとVirtuosoというタブが起動し、Libraryの列にtestlib以外のものがあれば起動成功。

Virtuosoと書かれたタブはCIWと呼び、エラーなどは基本CIWに表示されるので何かあればCIWを確認する。

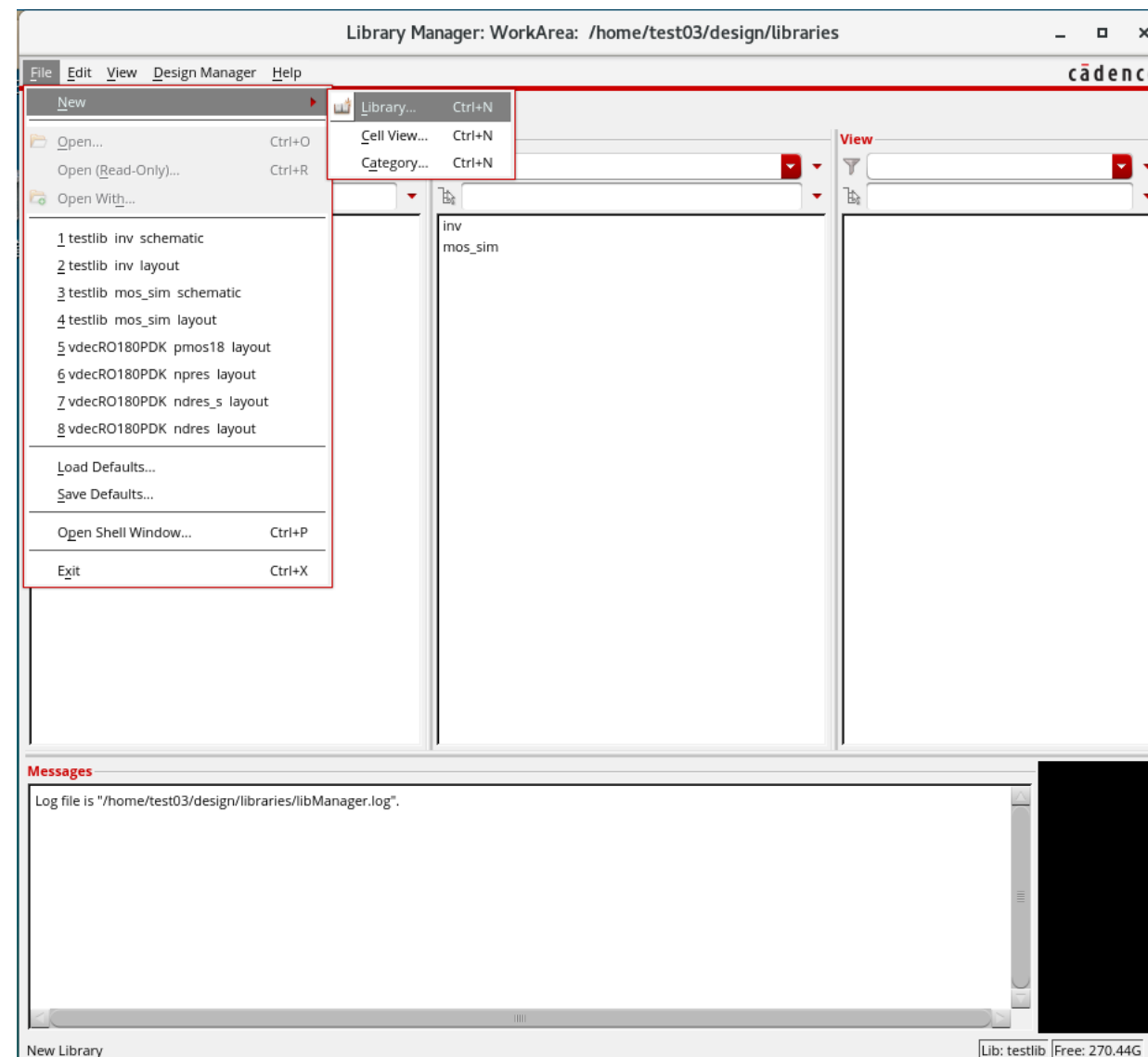


講習用ライブラリの作成

ライブラリは複数の回路図やレイアウトをまとめたディレクトリのようなもの。
基本的にプロジェクト単位でライブラリを作成し、回路もしくはその要素ごとにcellを作成する。

今回、講習用に”practice”というライブラリを作ることにする。

まずはメニューからFile->New->Libraryと選択し新規のライブラリを作成する。



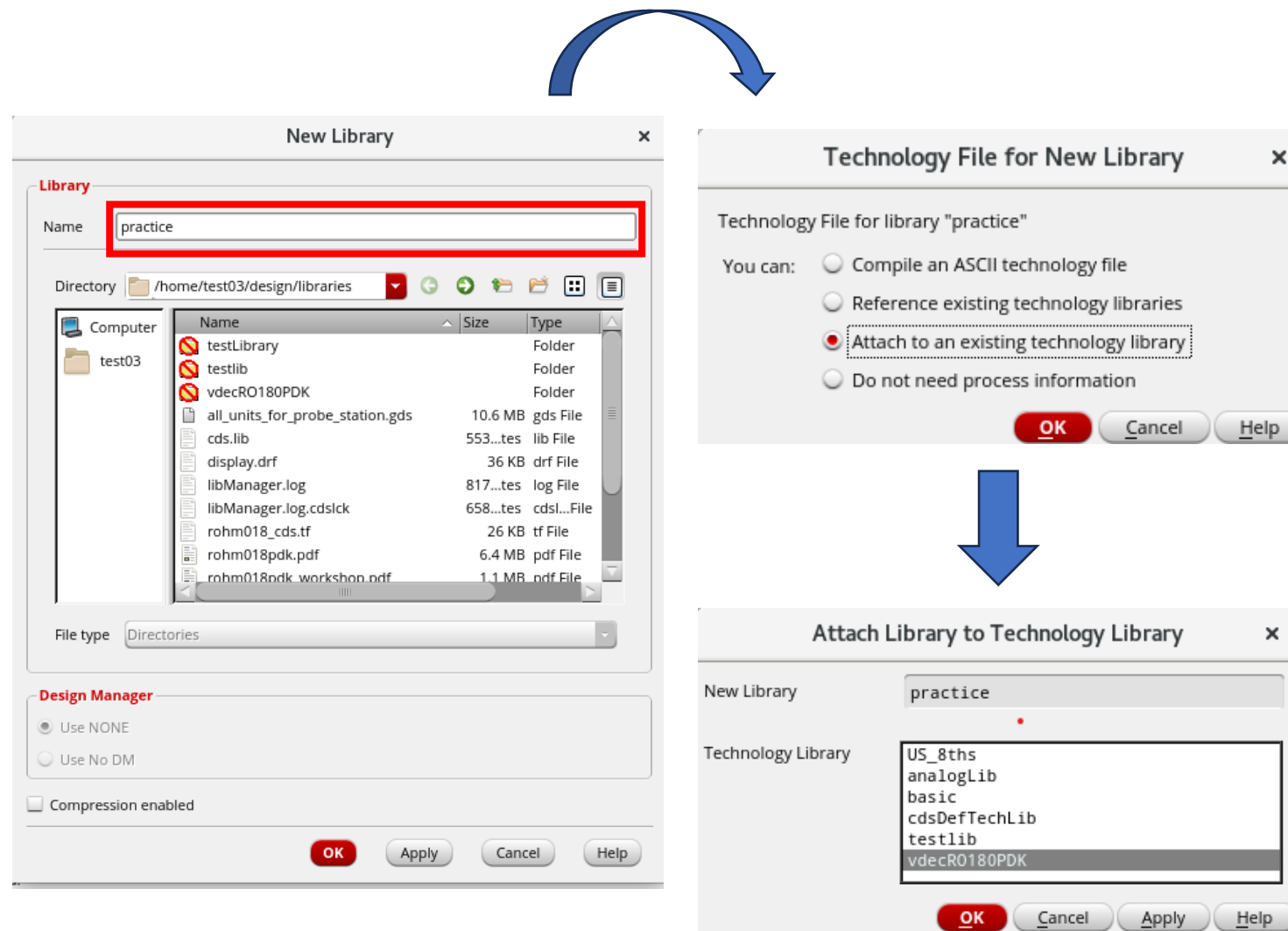
講習用ライブラリの作成

赤枠内に作成するライブラリの名前(今回は practice)を入力し、OKを押す。

するとテクノロジーファイルに関するポップアップが出てくるので
”Attach to an existing technology library”
を選択。

その後”Technology Library”の中から
”vdecRO180PDK”を選択する。

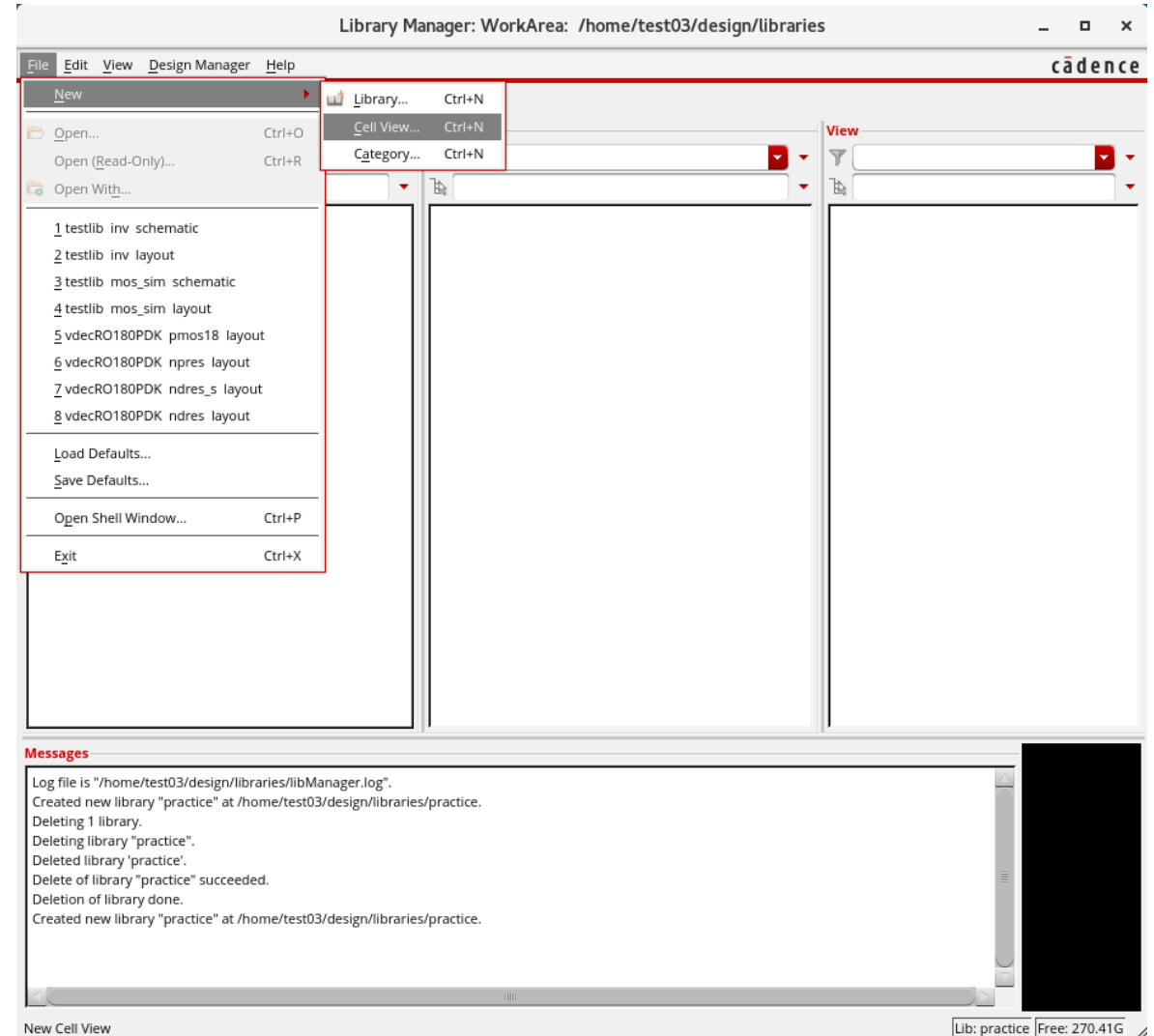
これで新規のライブラリが作成でき、
Library Managerの左の列に追加される。



セルの作成

先ほど作成したライブラリを選択した後、メニューからFile->New->Cell Viewをクリックし選択したライブラリの中に新たなセルを作成する。

一つのセルには原則、対応した回路図(schematic)・レイアウト・シンボルなどをひとつずつ作成することができる。

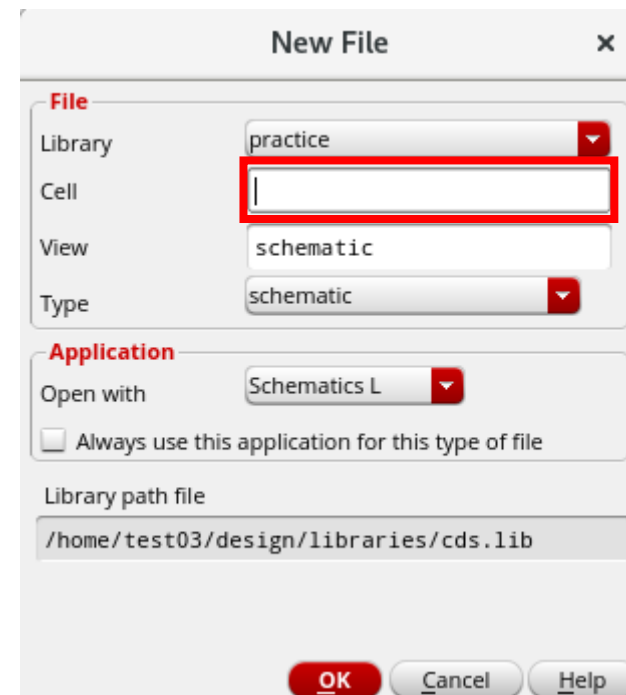


セルの作成

新規セルの作成では赤枠内に作成する名前を入力する。

“Type”を”schematic”にすると回路図を、“layout”にするとレイアウトのCell Viewを作ることができる。

今回は回路シミュレーションを行うので”schematic”を選択し、名前は”SourceGrand”としてOKを押し、回路図データの作成をする。



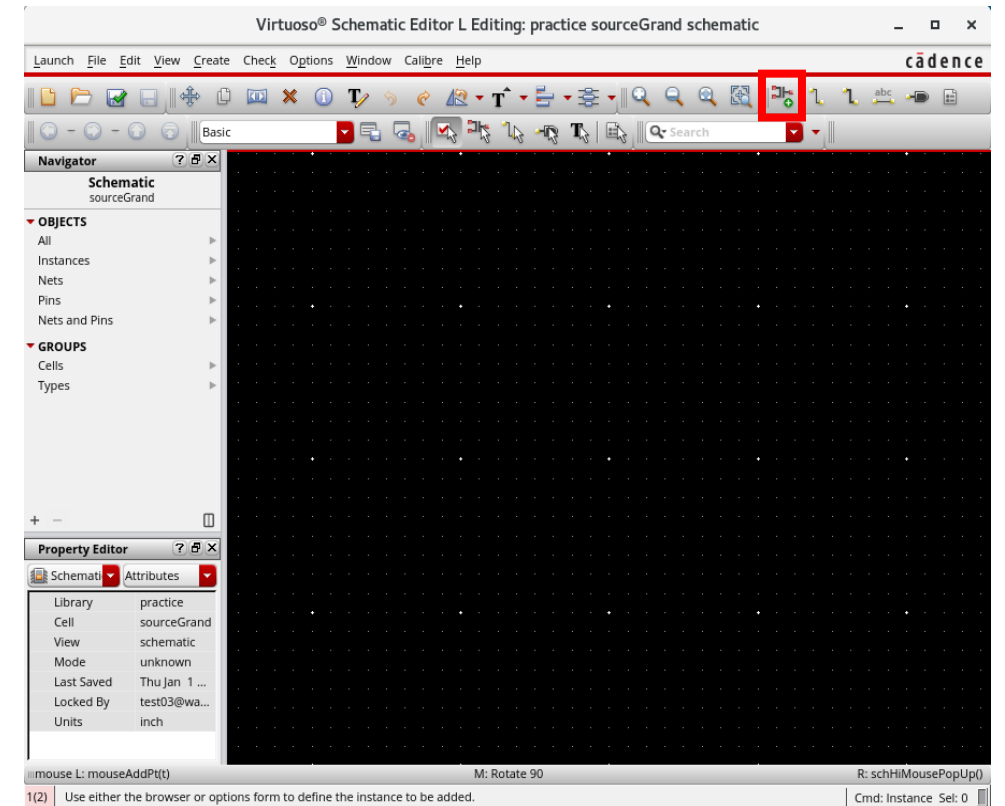
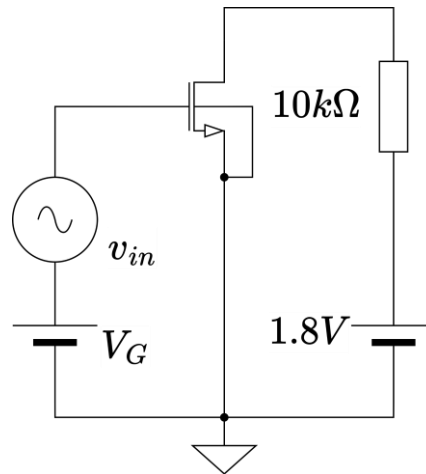
回路図の編集-インスタンスの追加-

schematicの作成をすると右のような回路図エディタが開く。すでに作成した回路図を開く場合はLibrary Managerで開きたいCell Viewをダブルクリックする。

素子はインスタンスという形で使用することになる。

(I)キーを押すか赤枠をクリックすると追加するインスタンスの選択ウィンドウが開く。

まずは右にあるようなソース接地増幅回路を考える。
(以降のページとは回路図が異なるが講習は右の回路で考える。)



回路図の編集-インスタンスの追加-

理想的な素子を用いる場合、Add Instanceの中のLibraryでanalogLibを選択する。

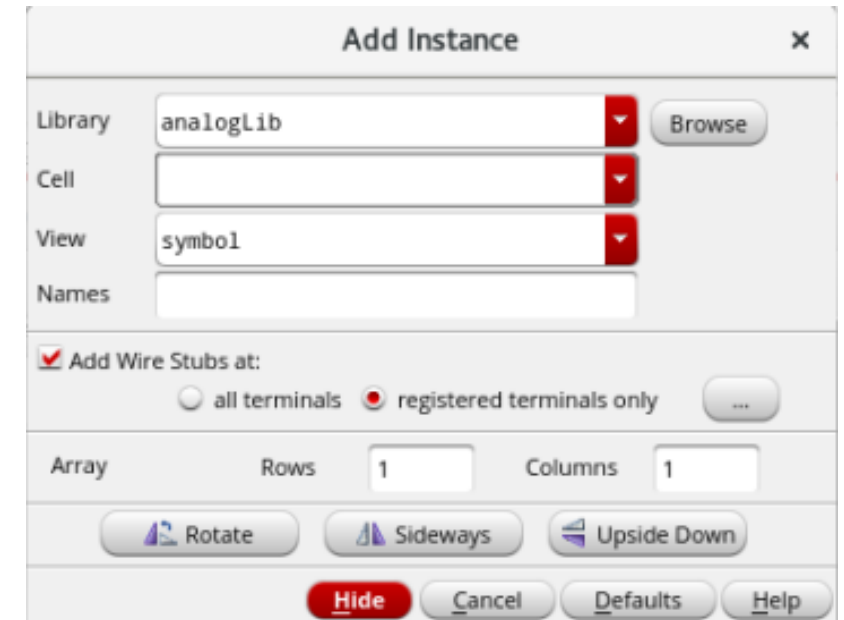
その後、Cellから使いたい素子を選ぶ。

ViewはsymbolのままでOK。

接地はgnd、抵抗はres、キャパシタはcap、コイルはindとなっている。
アナログの電圧限にはvdc、矩形波はvpulseを使用することが多い。
他にも素子が色々あるので自分で探してほしい。

理想素子以外を用いる場合は試作するPDKからインスタンスを選択する。

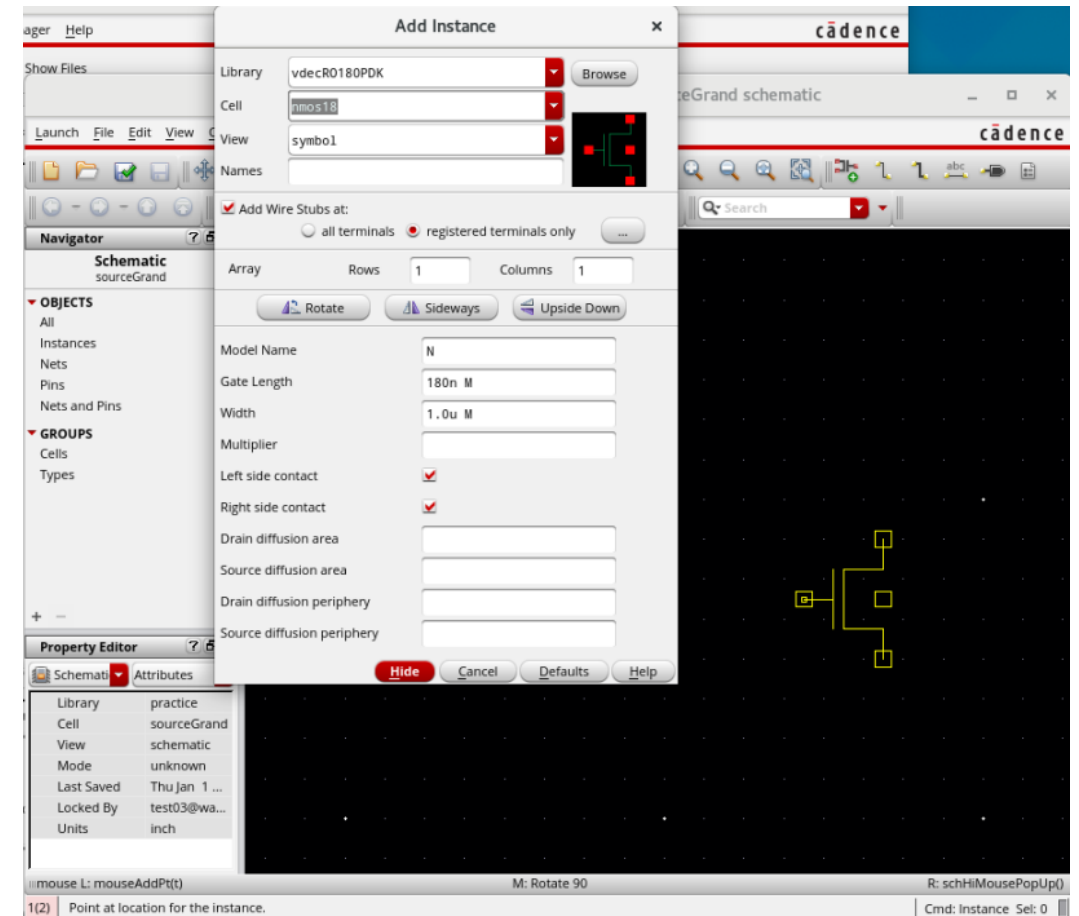
ROHMでのシミュレーションではLibraryでvdecRO180PDKを選ぶ。
ROHMではMOSにnmos18、pmos18を用いる。nmos33、pmos33は入出力用の高耐圧版で、動作速度が遅いのであまり使わない。



回路図の編集-インスタンスの追加-

Add InstanceでCellが選択できていると回路図エディタ上で追加される素子が黄色にプレビューされる。

この状態の時、エディタ上で左クリックを押すことで回路図中にインスタンスを置くことができる。



回路図の編集-素子値の編集-

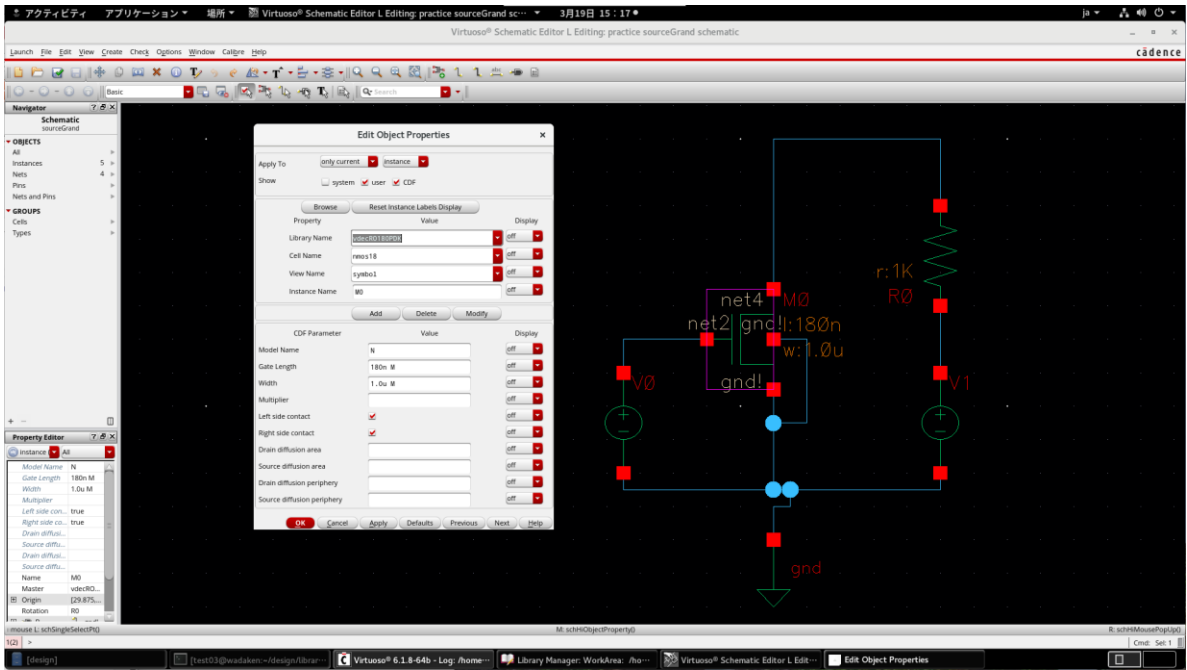
回路図中のインスタンスを左クリックで選択し、Qを押すと素子のプロパティが開く。

このウィンドウで素子値を設定する。

素子値に定数を入れるときはそのまま入力するが、文字を入れることで変数としてシミュレーションの時にスweepしたり、同じ素子値のものを一括で変更したりできる。

今回、MOSのサイズは初期値のままでよい。

スweepとは日本語で掃引。
例えば「ゲートの電圧を0Vから1.8Vまでスweepさせる」といったとき0~1.8Vまで少しずつ電圧を変化させながら解析を行うことを指している。



ゲートには電圧源が1つしか接続されていないがこのままでは適切にシミュレーションができない。
以前のページにあるよう直流分と信号分で二つの電圧源を直列に接続すると良い。

prefix	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ⁰	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²
virtuosoでの入力	p	n	u	m		k	M	G	T

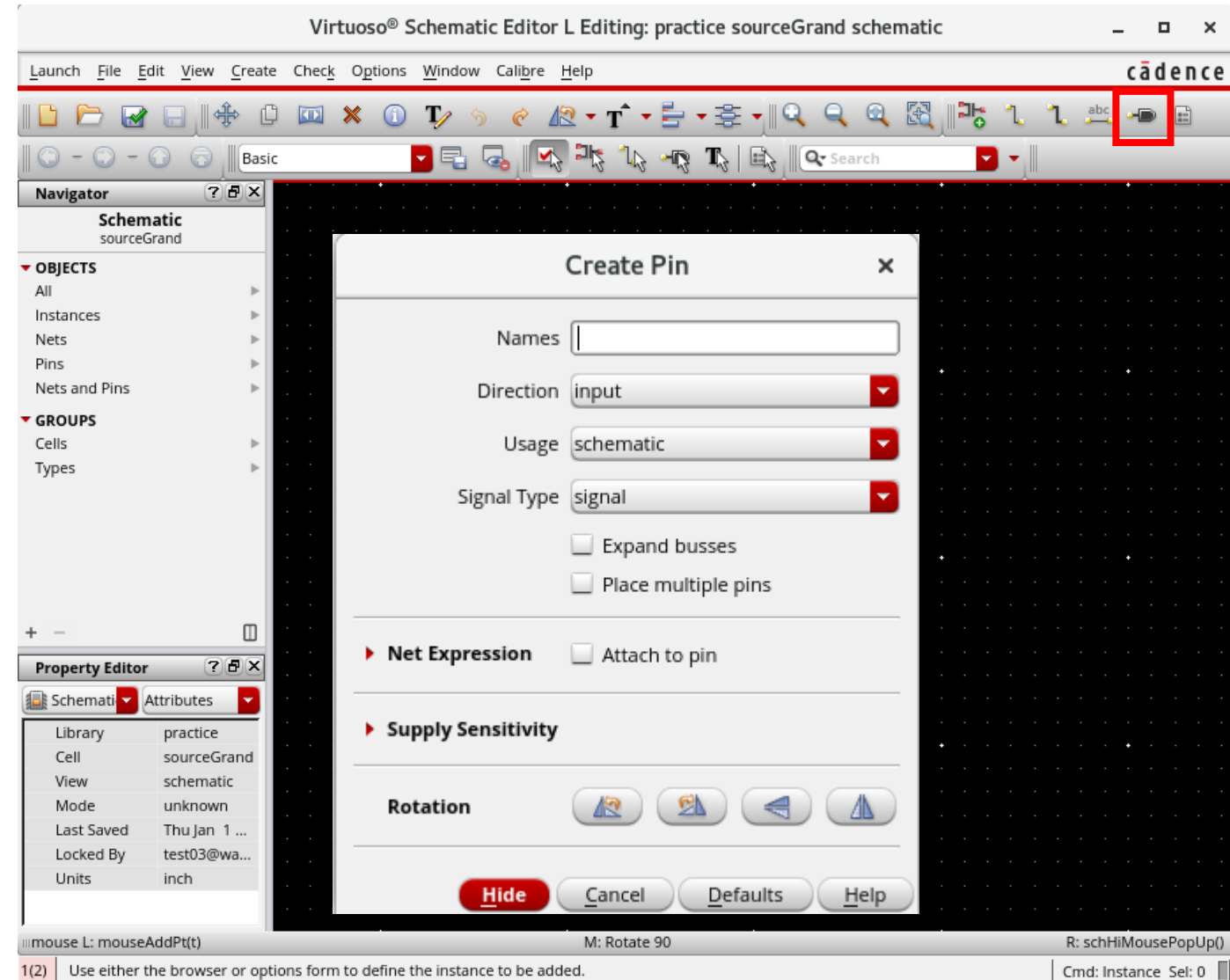
回路図の編集-pinの追加-

Pキーもしくは赤枠をクリックすると
Create Pinウィンドウが立ち上がる。

pinはエディタ上で離れていても短絡扱いに
なるほか、外部との接続の際に使用する。

シミュレーションの時はDirectionをinputに、
外部との接続の時は
DirectionをInputOutputにする。

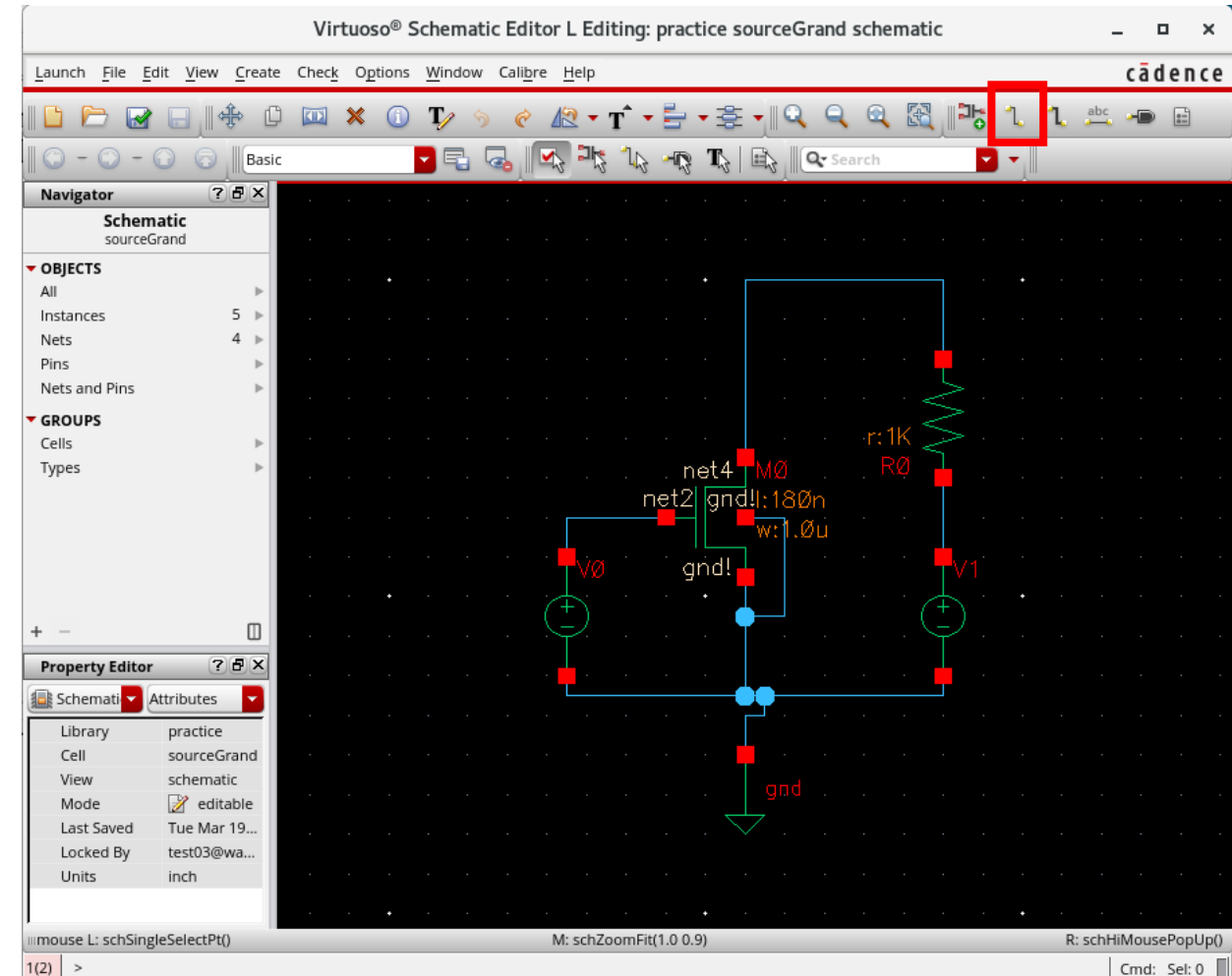
同じ名前のpinは短絡になる。



回路図の編集-配線-

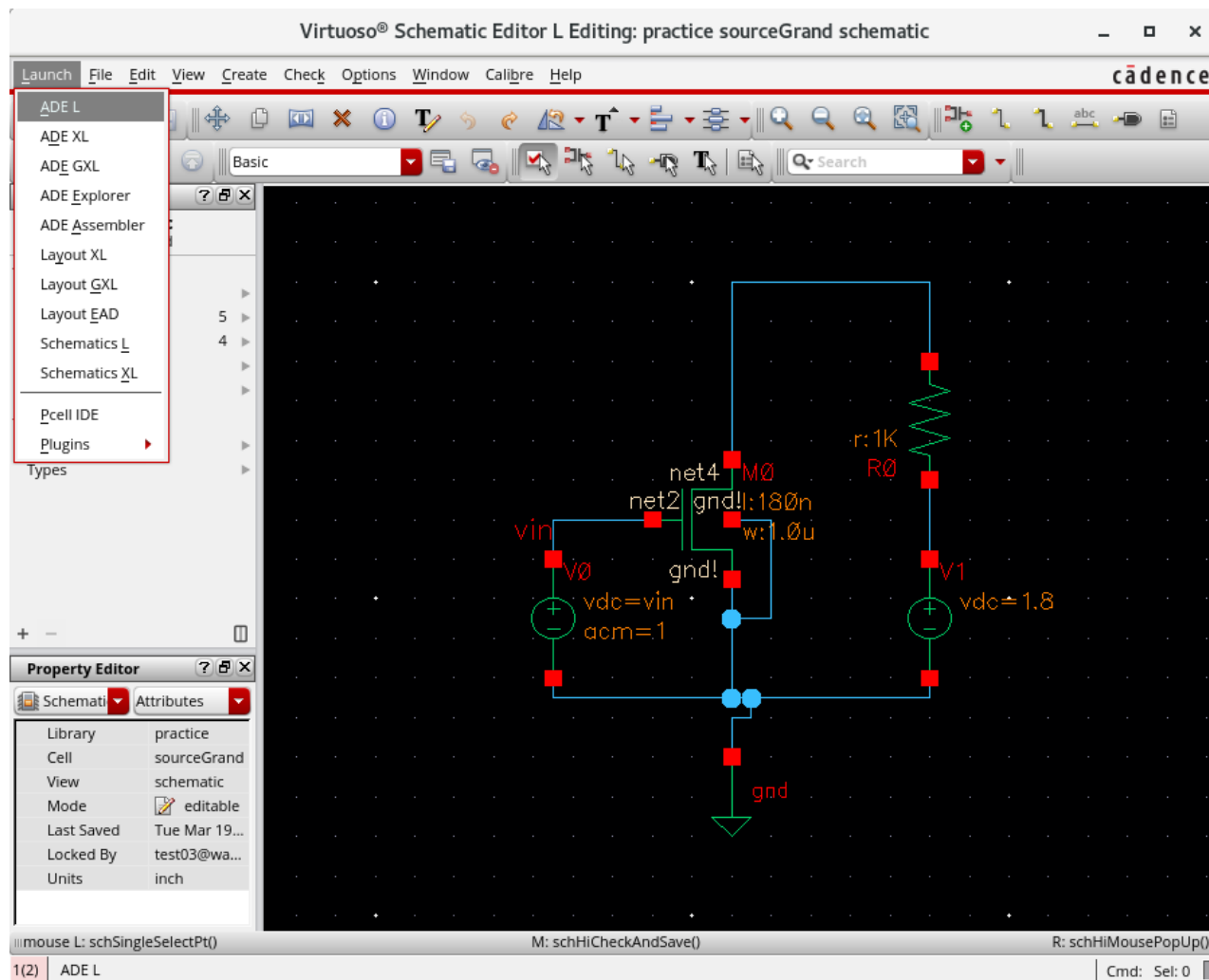
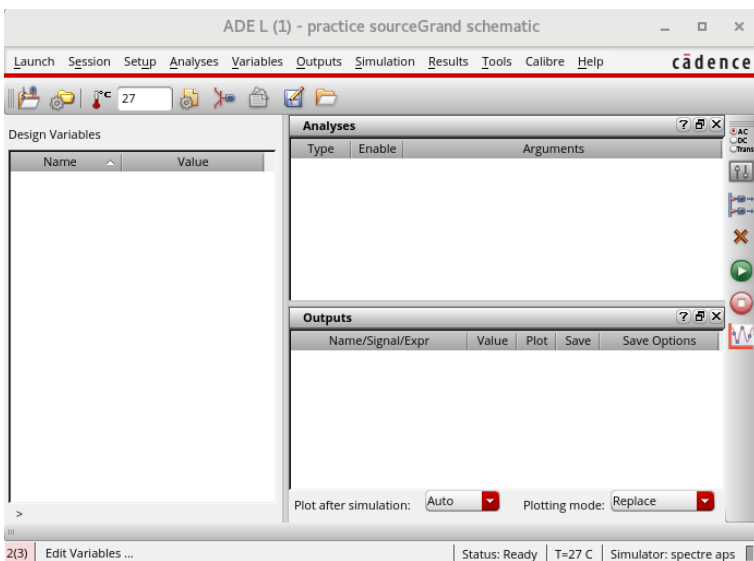
Wキーもしくは赤枠をクリックすると配線ができる。
この状態で赤くなってる端子をクリック
すると配線をはじめ、左クリックで中継点を決め、
ダブルクリックで配線を終了する。

1つの節点に配線3本までは許されるが十字(4本)は
エラーになる。



シミュレーション-ADE Lの起動-

メニューからLaunch->ADE Lを選択し、
シミュレーションツールであるADE Lを起動する。



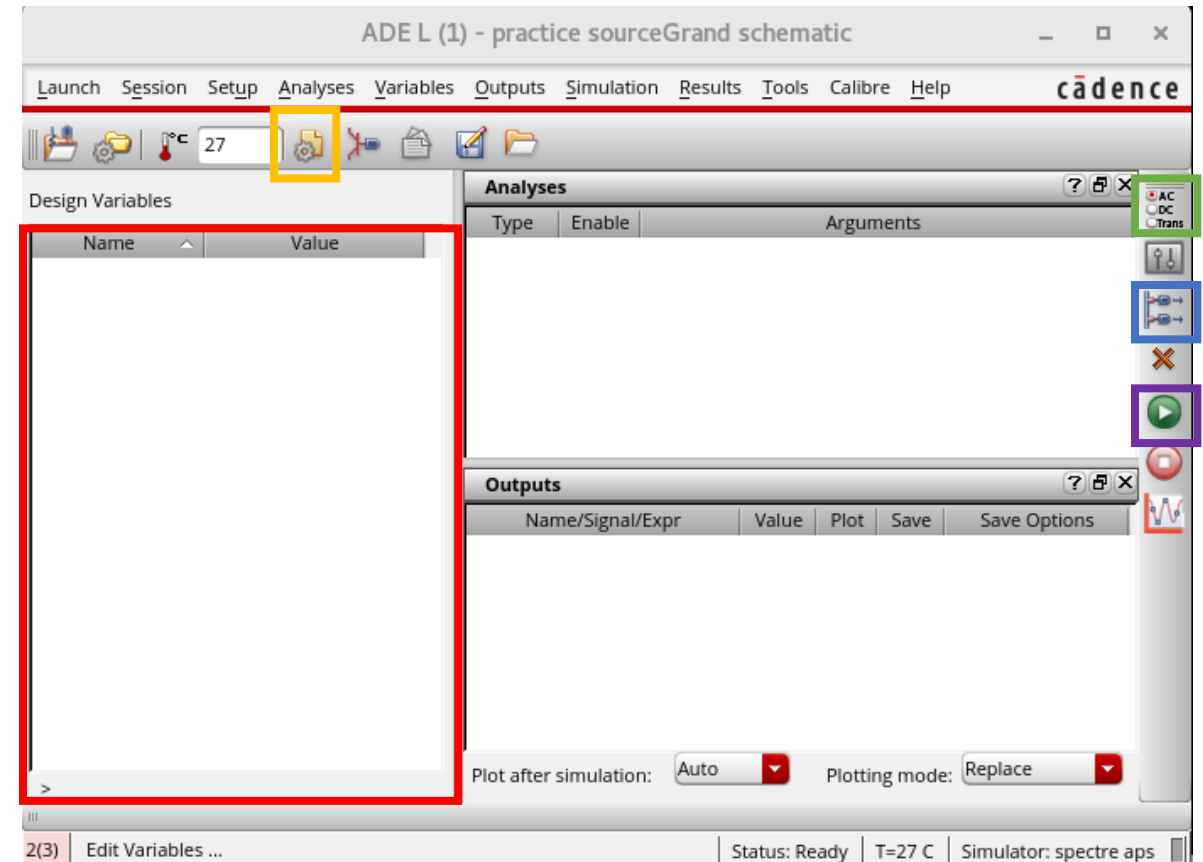
シミュレーション-変数の設定-

Design Variables(赤枠内)で右クリックをし、
Copy From Cellviewを選択すると
回路図上の素子値に入力した変数が
Design Variablesの枠内に追加される。

追加した変数のValueには定数値を入れる。

シミュレーション時、素子値に変数を用いている
場合、このValueが適用されるので複数の素子値
を同じ変数にしておけばこのValueを変えること
で素子値を一括変更できる。

新たに変数を追加する場合は赤枠内で
右クリック->Editから追加できる。



シミュレーション-解析方法の選択-

前ページの緑枠をクリックすると右のようなウィンドウが出る。

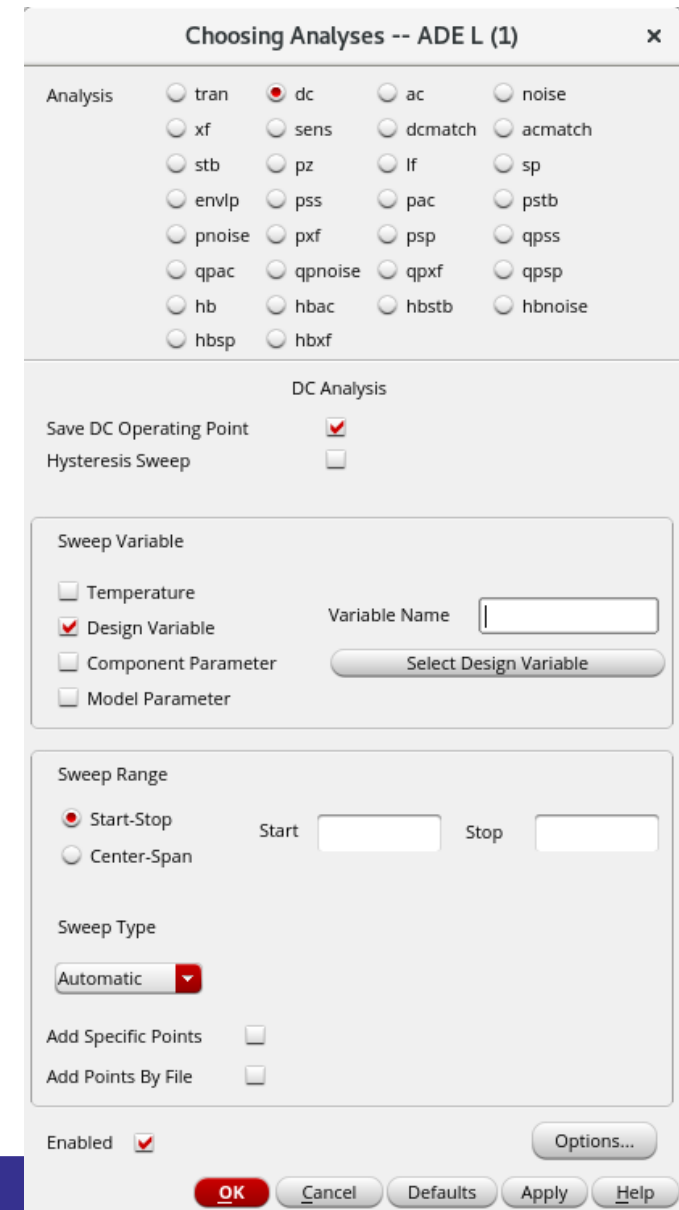
直流解析を行う場合、Analysisのdcというラジオボタンを選択する。
過渡解析ならばtran、交流解析ならばacを選択すればよい。

Save DC Operating Pointにはチェックを入れておく。

変数でスイープさせる場合、Sweep VariableをDesign Variableにし、
Variable Nameにスイープさせる変数を入れる。

Sweep Rangeにはスイープさせる変域を指定する。
Start-Stopの場合は下限と上限を設定し、
Center-Spanの場合はスイープさせる中心と合計でどれくらいスイープさせるかを設定する。

Sweep Typeは値の変化のさせ方を設定する。
Automaticで基本的に問題ない。荒いと思ったらLinerにして刻み幅を変えればよい。
Logarithmicにすると対数で値を変化させられる。AC解析の時によく使う。



The image shows a screenshot of the 'Choosing Analyses -- ADE L (1)' dialog box in a simulation software. The dialog is titled 'Choosing Analyses -- ADE L (1)' and has a close button (X) in the top right corner. It contains several sections for configuring the analysis.

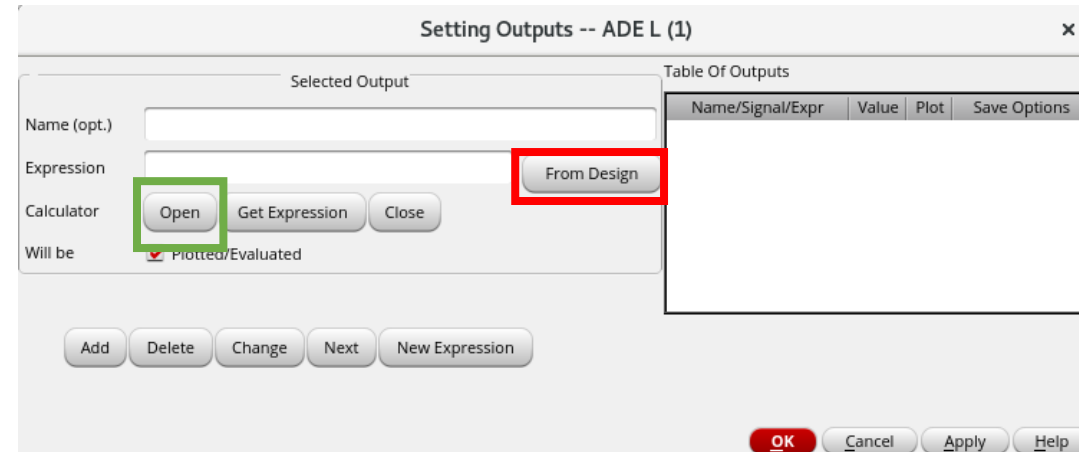
- Analysis:** A grid of radio buttons for selecting the analysis type. The selected option is 'dc' (DC Analysis). Other options include tran, xf, stb, envlp, pnoise, qpac, hb, hbasp, ac, sens, pz, pss, pxf, qpnoise, hbac, hbx, dcmatch, lf, pac, psp, qpac, hbstb, noise, acmatch, sp, pstb, qpss, qpdp, and hbnoise.
- DC Analysis:** A section with two checkboxes: 'Save DC Operating Point' (checked) and 'Hysteresis Sweep' (unchecked).
- Sweep Variable:** A section with four checkboxes: 'Temperature' (unchecked), 'Design Variable' (checked), 'Component Parameter' (unchecked), and 'Model Parameter' (unchecked). To the right of these is a 'Variable Name' text box and a 'Select Design Variable' button.
- Sweep Range:** A section with two radio buttons: 'Start-Stop' (checked) and 'Center-Span' (unchecked). To the right of these are 'Start' and 'Stop' text boxes.
- Sweep Type:** A section with a dropdown menu set to 'Automatic'. Below it are two checkboxes: 'Add Specific Points' (unchecked) and 'Add Points By File' (unchecked).
- Buttons:** At the bottom right, there are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Defaults', 'Apply', and 'Help'. There is also an 'Options...' button near the bottom right.

シミュレーション-解析方法の選択-

2ページ前の青枠をクリックすると右のようなウィンドウが出る。

From Designをクリックすると回路図が現れる。
この状態でモニターしたい配線・端子をクリックすると
シミュレーション実行後に結果を見ることができる。
電圧は配線を、電流は端子を選択することでモニターできる。

緑枠のOpenをクリックするとCalculatorが開く。
このCalculatorを使うと20dBや微分、FFT等種々の処理を
施した波形を出力することができる。
また、Calculatorでの表現を覚えればExpressionの欄に直打ち
しても同様の結果が得られる。



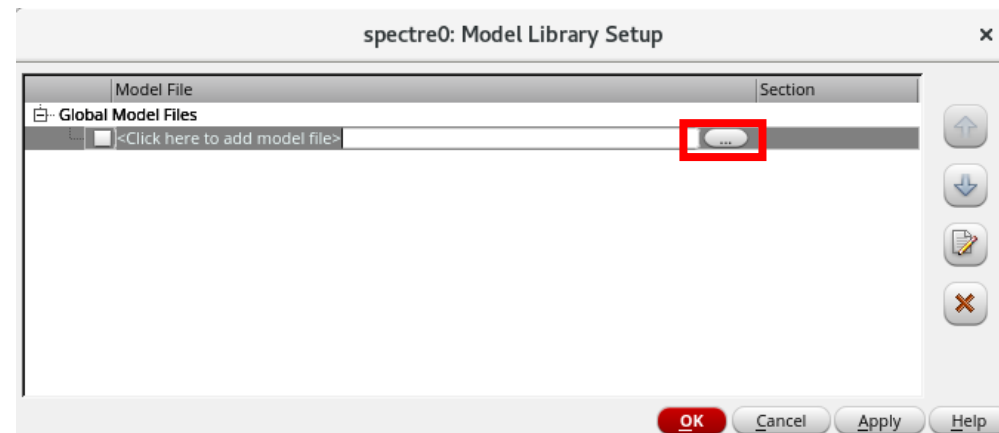
シミュレーション-モデルの選択-

3ページ前のオレンジ枠をクリックするとシミュレーションモデルを選択できる。

トランジスタは各半導体製造プロセスによって特性が異なるのでそれを反映したモデルを使用する必要がある。

赤枠周辺をクリック(連打ではなく)していると…が出てくる。
この…をクリックし、モデルファイルを選択する。
今回使用するモデルは
/simulation/ROHM_180_corner_model/TT.inc

選択出来たらOKを押してウィンドウを閉じる。

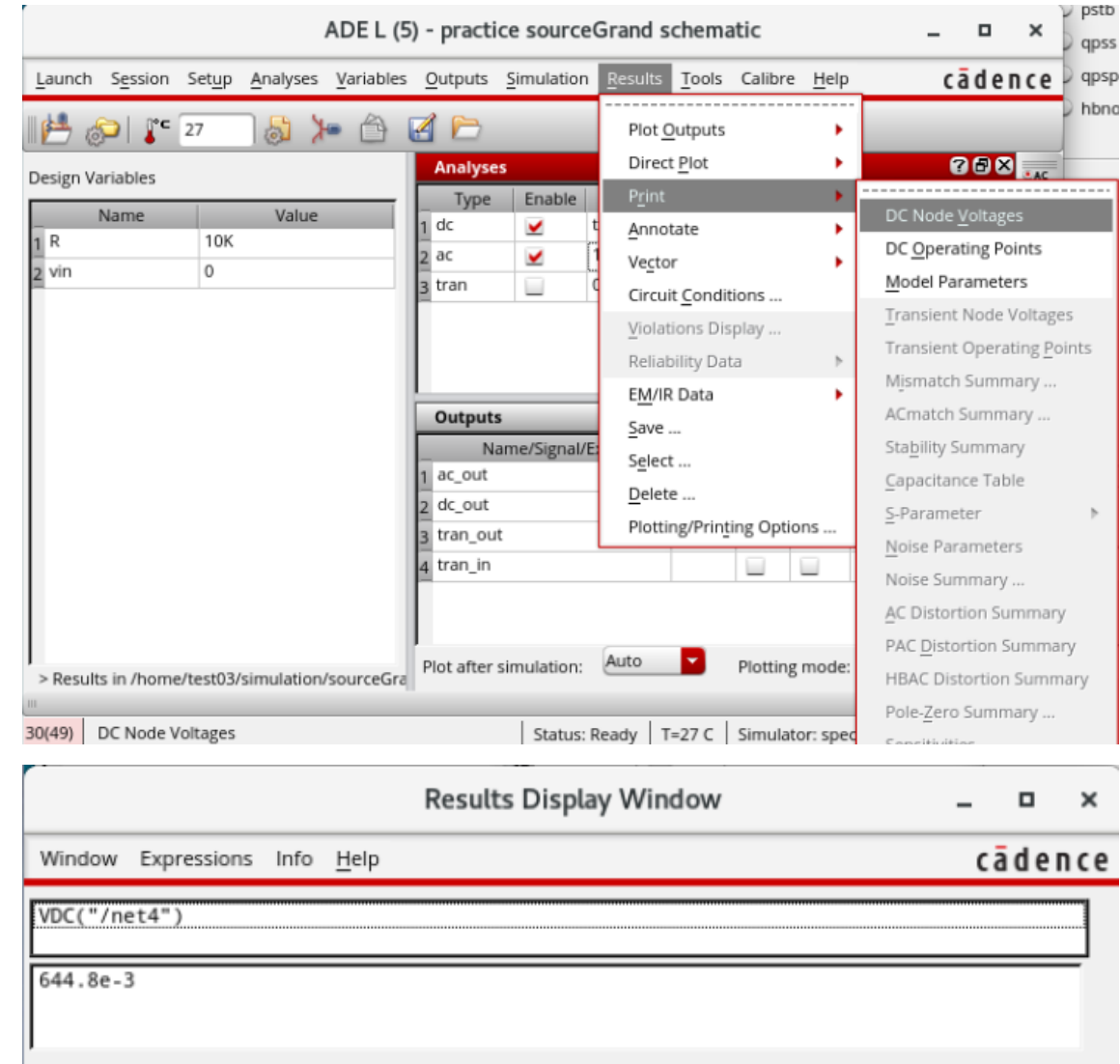


シミュレーション-DC Node Voltages-

予めSave DC Operating Pointにチェックを入れDC解析を実行する必要がある。この時、スweepする変数などは何でもいい。

非線形素子を用いた設計では必ず直流電位をまず設計する。DC Node Voltagesを用いてMOSが意図した領域で動作するように設計を行う。利得や周波数特性などは動作領域が適切であって初めて意味を持つ。

ADE LのメニューからResults->Print->DC Node Voltagesを選択する。すると、schematic editorが出てくるので直流電位を見たい配線をクリックする。クリックした配線の直流電位がResults Display Windowに表示される。

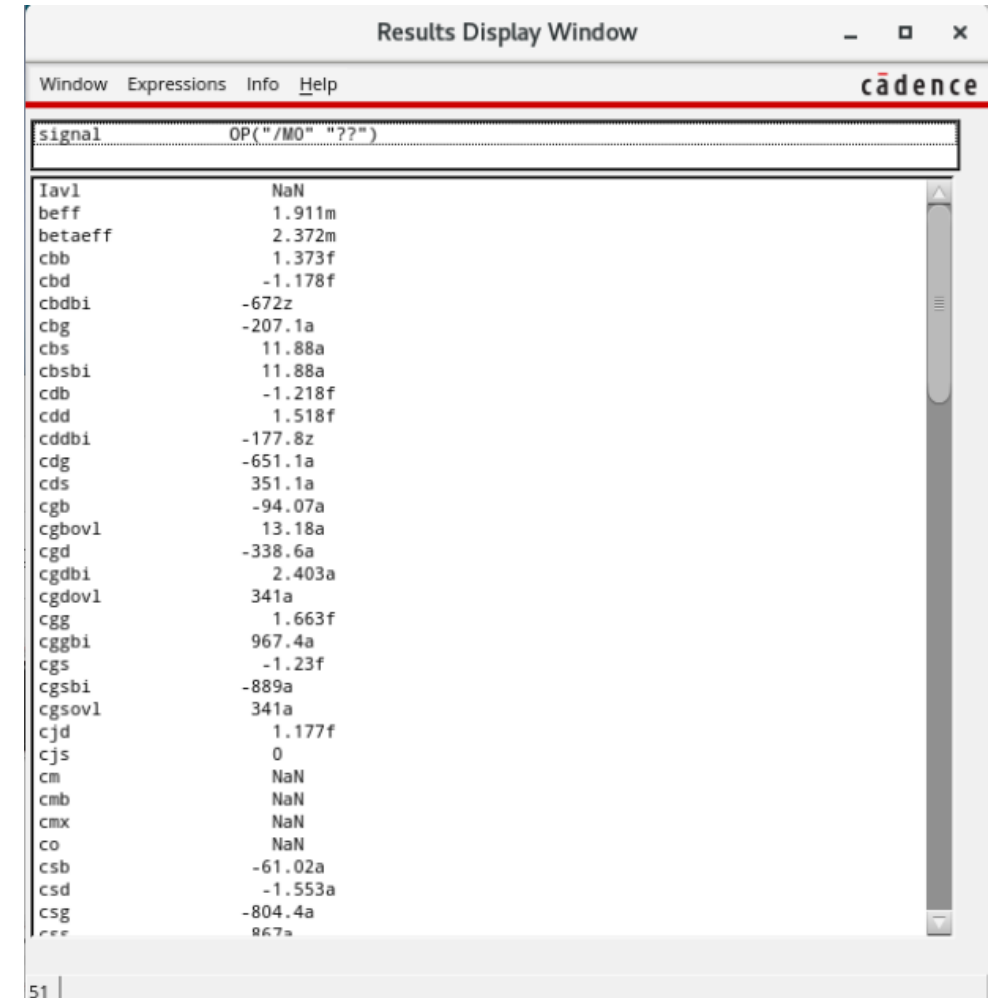


シミュレーション-DC Operating Points-

DC Node Voltages同様Save DC Operating PointにチェックをいれDC解析を実行しておく必要がある。

ADE Lのメニューで
Results->Print->DC Operating Point
を選択するとDC Node Voltages同様
schematic editorが出てくるので今度は
インスタンスを選択する。

するとResults Display Windowに選択した
インスタンスの直流における電流やトランスコンダ
クタンスなどが表示される。



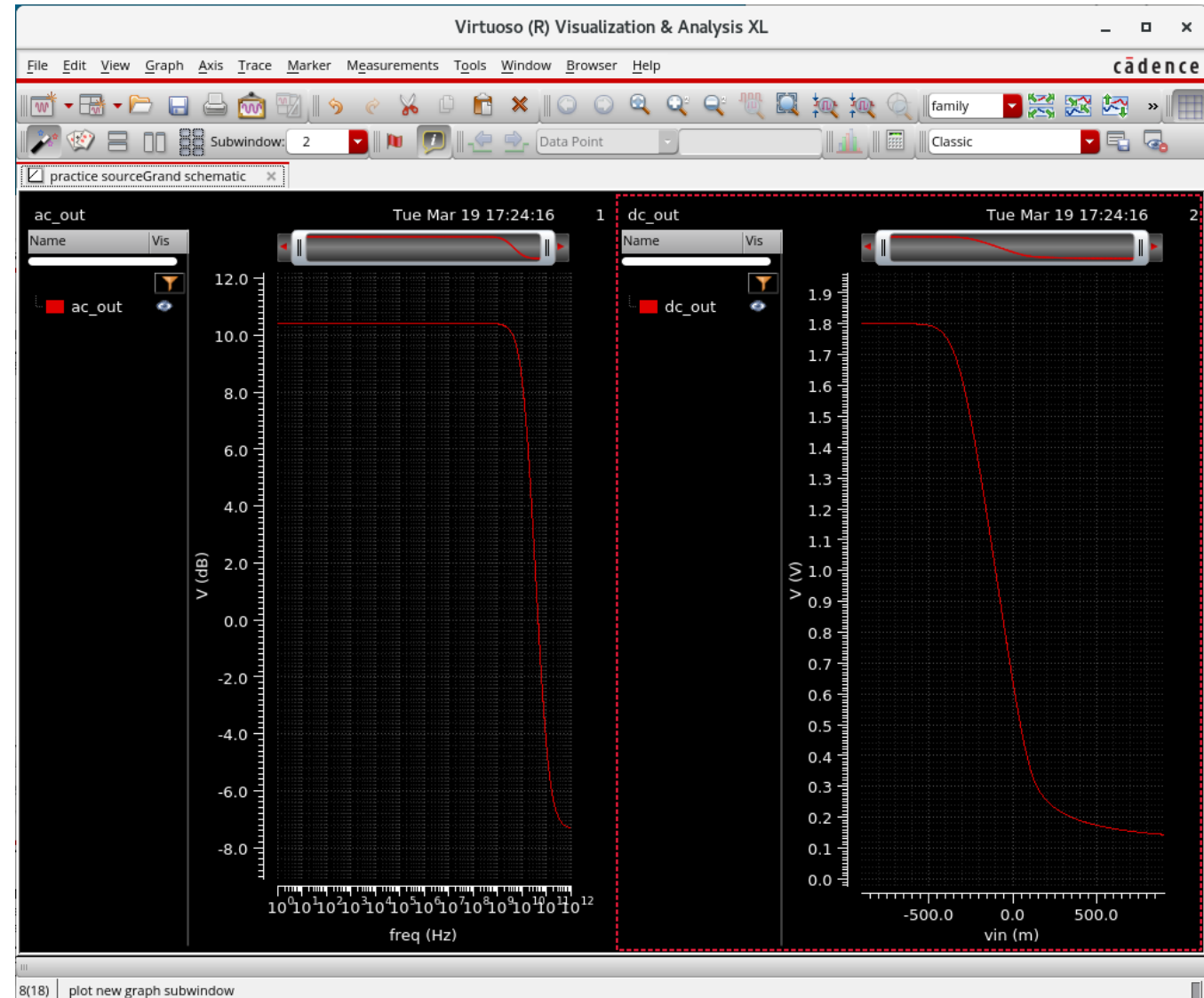
Results Display Window	
Window Expressions Info Help cadence	
signal	OP("/MO" "??")
Iavl	NaN
beff	1.911m
betaeff	2.372m
cbb	1.373f
cbd	-1.178f
cbdbi	-672z
cbg	-207.1a
cbs	11.88a
cbsbi	11.88a
cdb	-1.218f
cdd	1.518f
cddb1	-177.8z
cdg	-651.1a
cds	351.1a
cgb	-94.07a
cgbov1	13.18a
cgd	-338.6a
cgdbi	2.403a
cgdov1	341a
cgg	1.663f
cggbi	967.4a
cgs	-1.23f
cgsbi	-889a
cgsov1	341a
cjd	1.177f
cjs	0
cm	NaN
cmb	NaN
cmx	NaN
co	NaN
csb	-61.02a
csd	-1.553a
csg	-804.4a
cse	867a

シミュレーション-解析方法の選択-

18ページの紫枠にある再生ボタンをクリックするとシミュレーションを実行する。
実行結果は右のようなAnalysis XLという波形ビューワに表示される。

右の画面ではAC解析とDC解析を実行している。但し、AC解析では入力信号に対してどの程度の増幅率を得られるかを表示する。そのため入力となる電圧源にはAC magnitudeを1とする必要がある。

この画面でVやHを押すとオシロスコープのカーソルのようなものが出てくる。



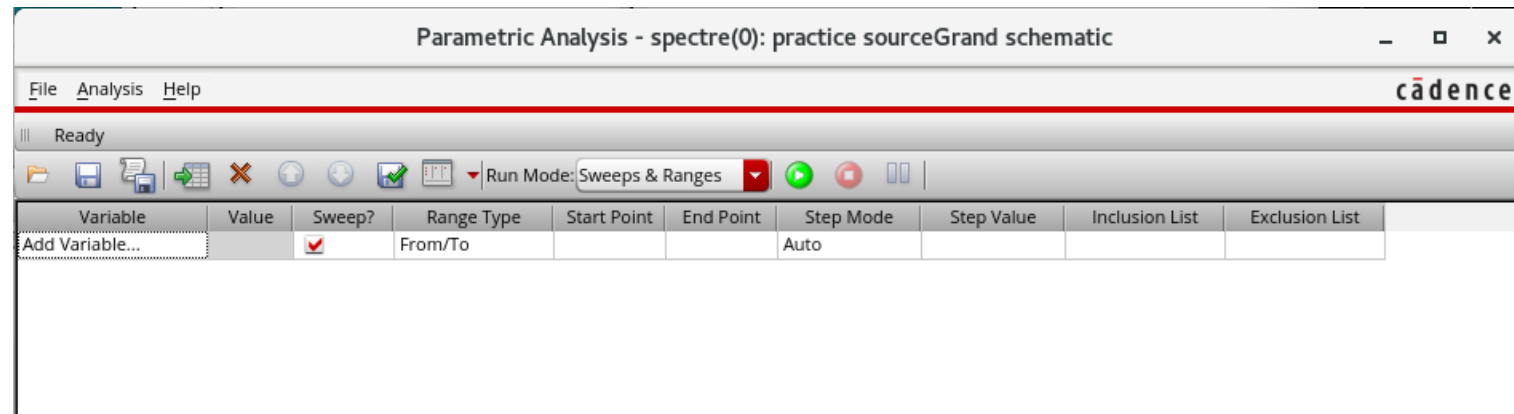
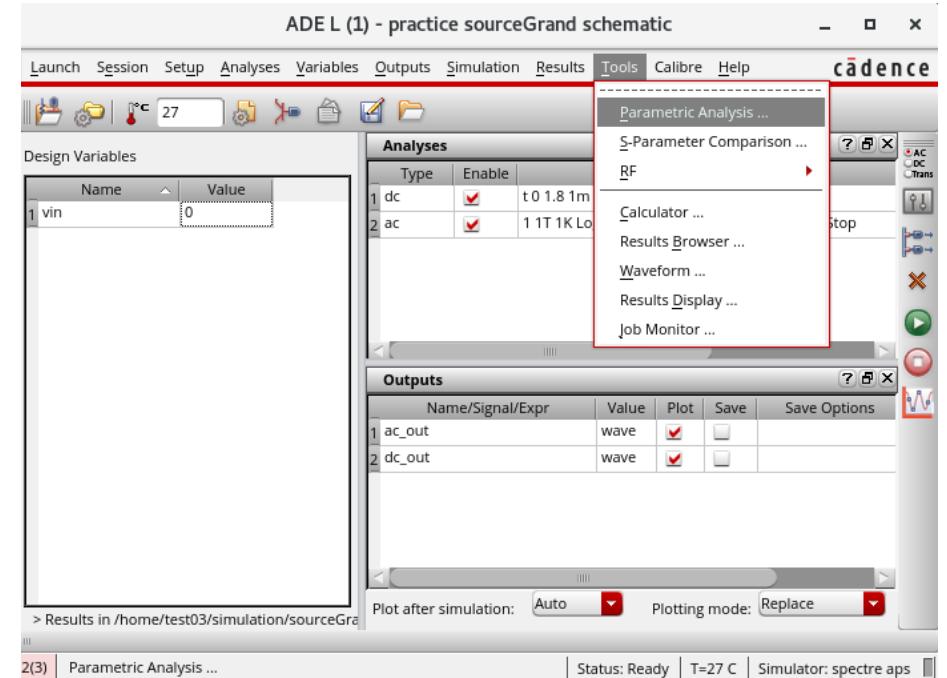
シミュレーション-Parametric Analysis-

シミュレーションをしていると複数の変数をスイープさせたいことがある。
これはParametric Analysisで実行できる。

Parametric AnalysisはADE Lのメニューから
Tools->Parametric Analysisの順で選択する。

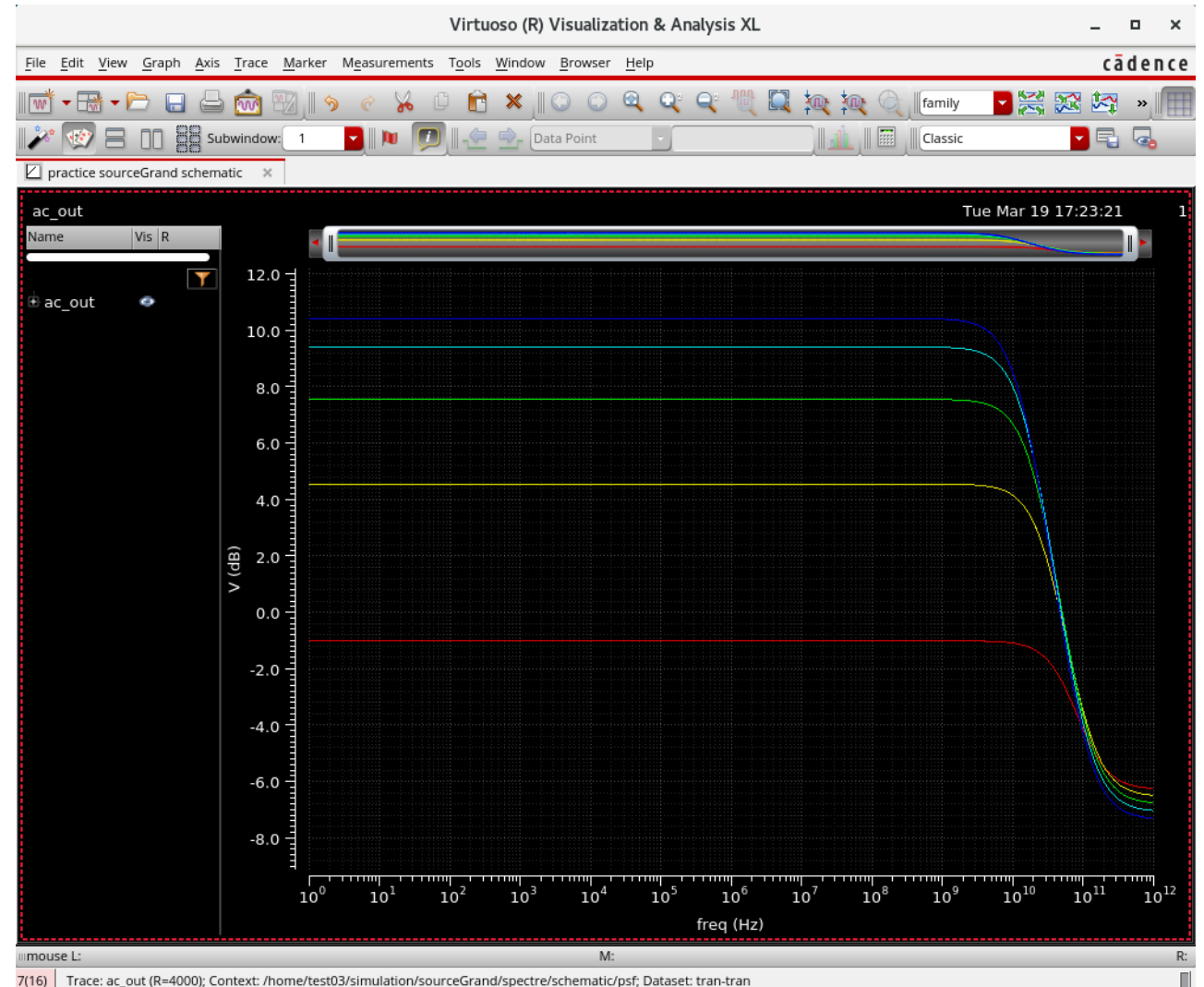
メインでスイープするのはADE L上のAnalysisで選択されている変数だが、二つ目以降の変数は
Parametric Analysis上のVariableに追加する。

Parametric Analysisの実行はParametric Analysisの
ウィンドウの再生ボタンから行う



シミュレーション-Parametric Analysis-

右図はAC解析を行っているが、
Parametric Analysisで抵抗値を2 k Ω ~10 k Ω
まで2 k Ω ずつ変化させている。
各線は下から、抵抗値が2 k Ω 、4 k Ω 、
6 k Ω 、8 k Ω 、10 k Ω での解析結果である。

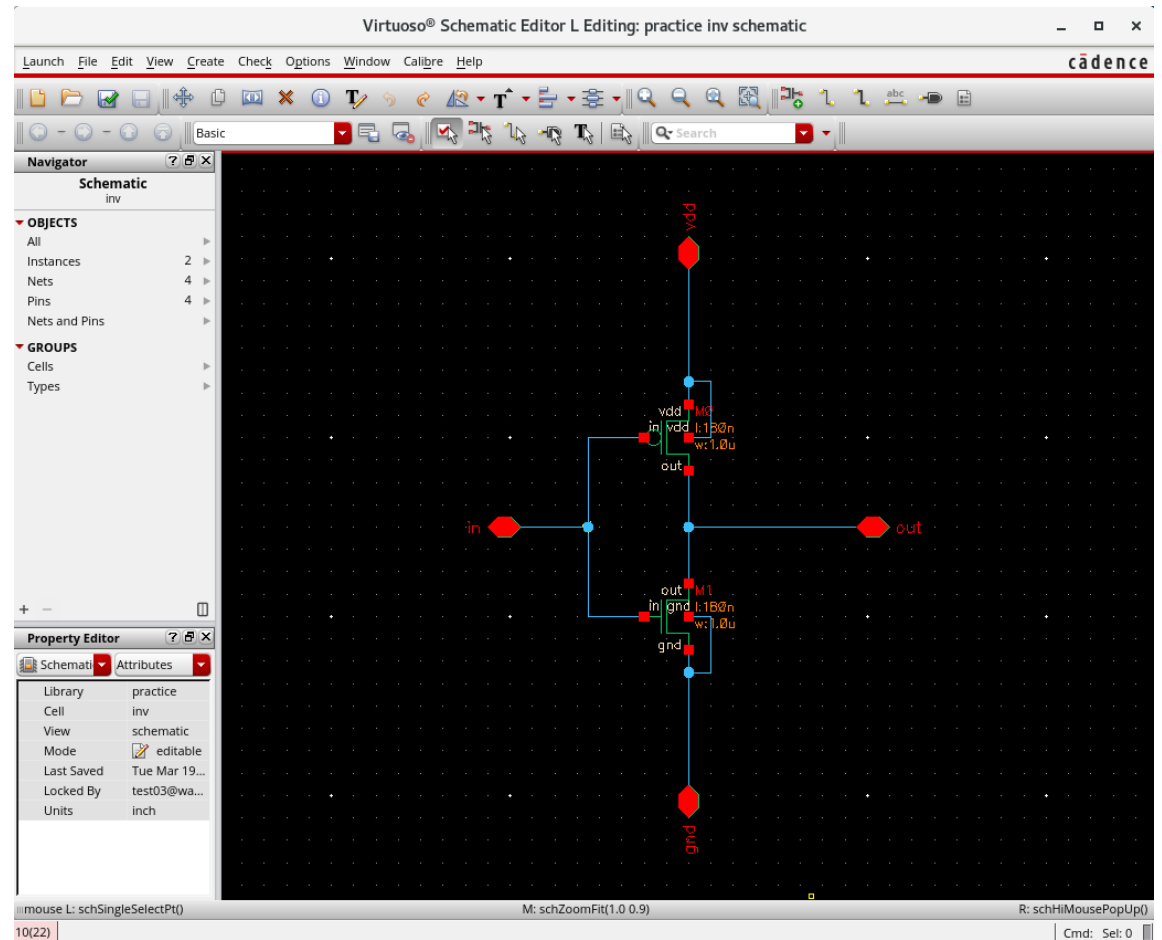


シンボルの作成

右のようなインバーターを設計したとして、このインバーターを何回も使いまわすことを考える。

このときschematicをコピーしてもできるが、インスタントして他の回路図に取り入れる方がシンプルで編集もしやすい。

シンボルの作成は、シンボルにするschematicから
Create->Cellview->From Cellview
を選択。
その後Cellview From Cellview、
Symbol Generation Optionsというウィンドウが出る
がどちらも変更せずOKを押す。



シンボルの作成

右のようにSymbol Editorが立ち上がる。

@partName以外の緑の線はDeleteで消してしまう。

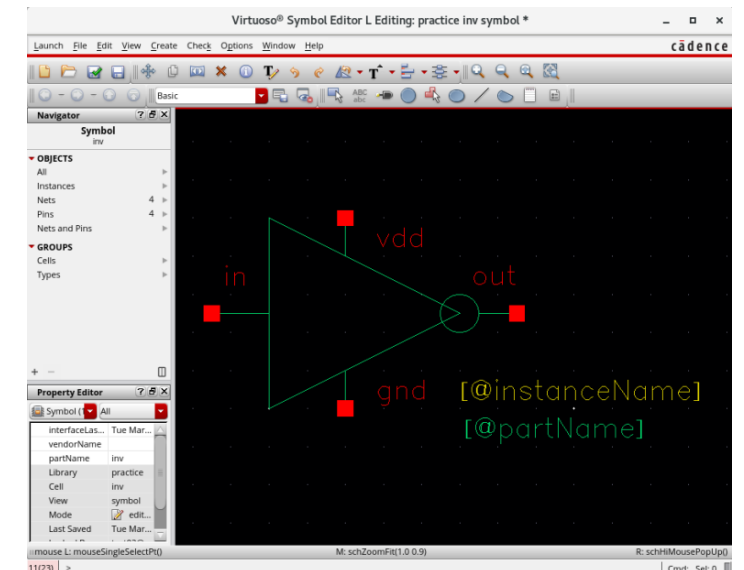
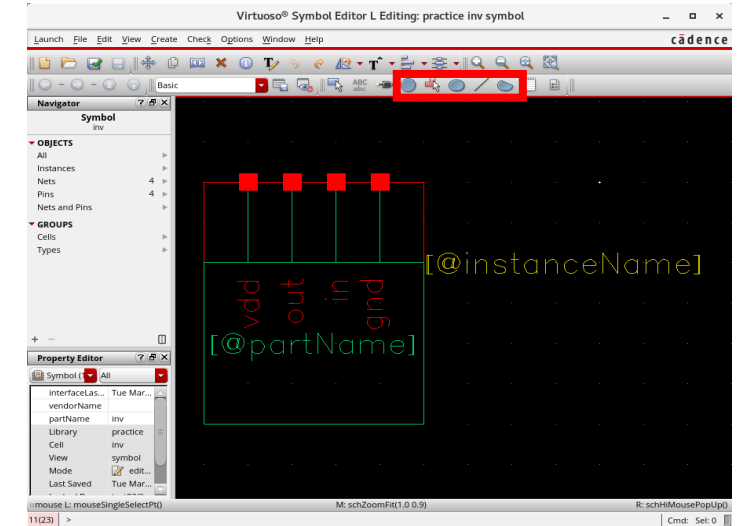
赤枠内のツールを使って下図のようにシンボルの絵を描いたら

Create->Selection Box

を選択し、現れたAdd Selection BoxウィンドウでAutomaticをクリックすると赤い枠がシンボルの絵に追加される。

これを保存すればシンボルの作成は完了。

他の回路図にも素子を置いた時と同様の手順で作成したインスタンスを使用することができる。
ただし、作成したインスタンスの回路図・シンボルを変更すると他の回路図でのインスタンスも全て変更が適用されるのに注意。



ここまでのページで一通りのシミュレーション方法を概観した。

以降では右に示すインバーターの設計を実際に行う。

構成は右に示す通りなので、MOSのサイズを設計する。

まずは簡単のため $L = 180 \text{ nm}$ として設計をすると良い。

設計の要件としては

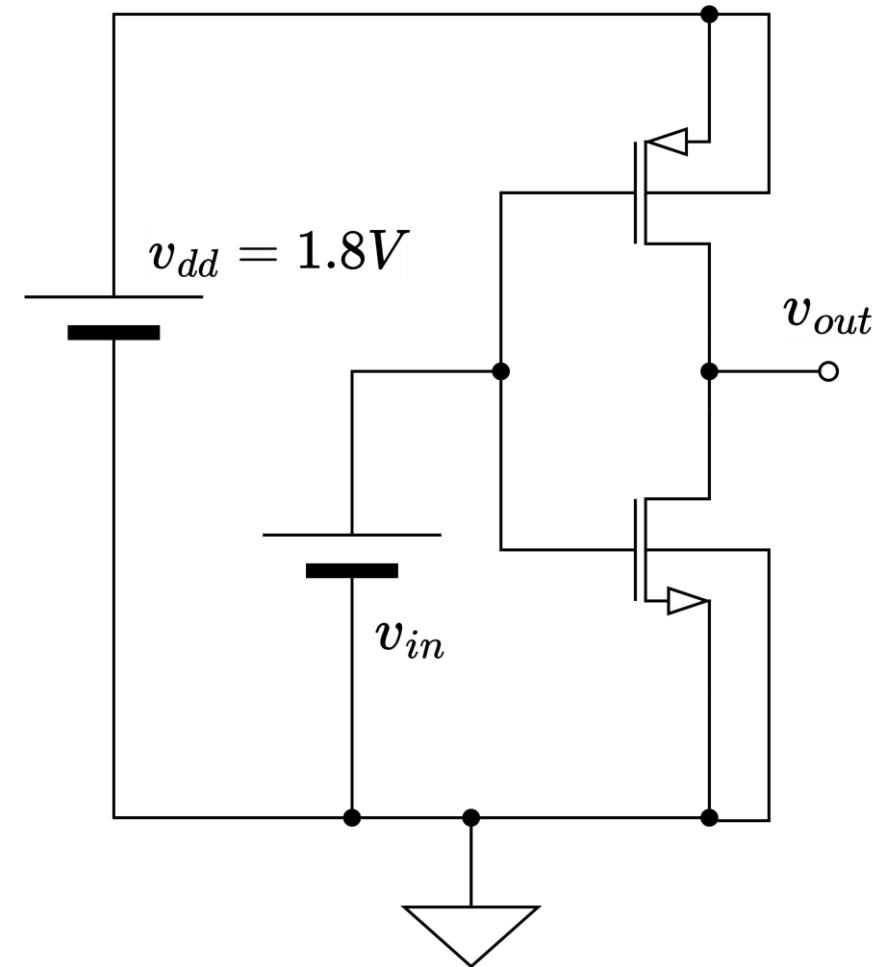
$v_{in} < V_{th}$ の時

$$v_{out} = V_{HIGH}$$

$V_{th} < v_{in}$ の時

$$v_{out} = V_{LOW}$$

($V_{th} = 1/4 \cdot V_{dd}$ 、 $2/4 \cdot V_{dd}$ 、 $3/4 \cdot V_{dd}$ で各班ごとに設計を行う。)



前ページで作成したインバータのシンボルを作成し、インバータを10個カスケード(前段の出力を後段の入力につなぐ)接続にし、過渡解析を行うことでインバータを通すことでどの程度信号が遅延するかを確認する。

