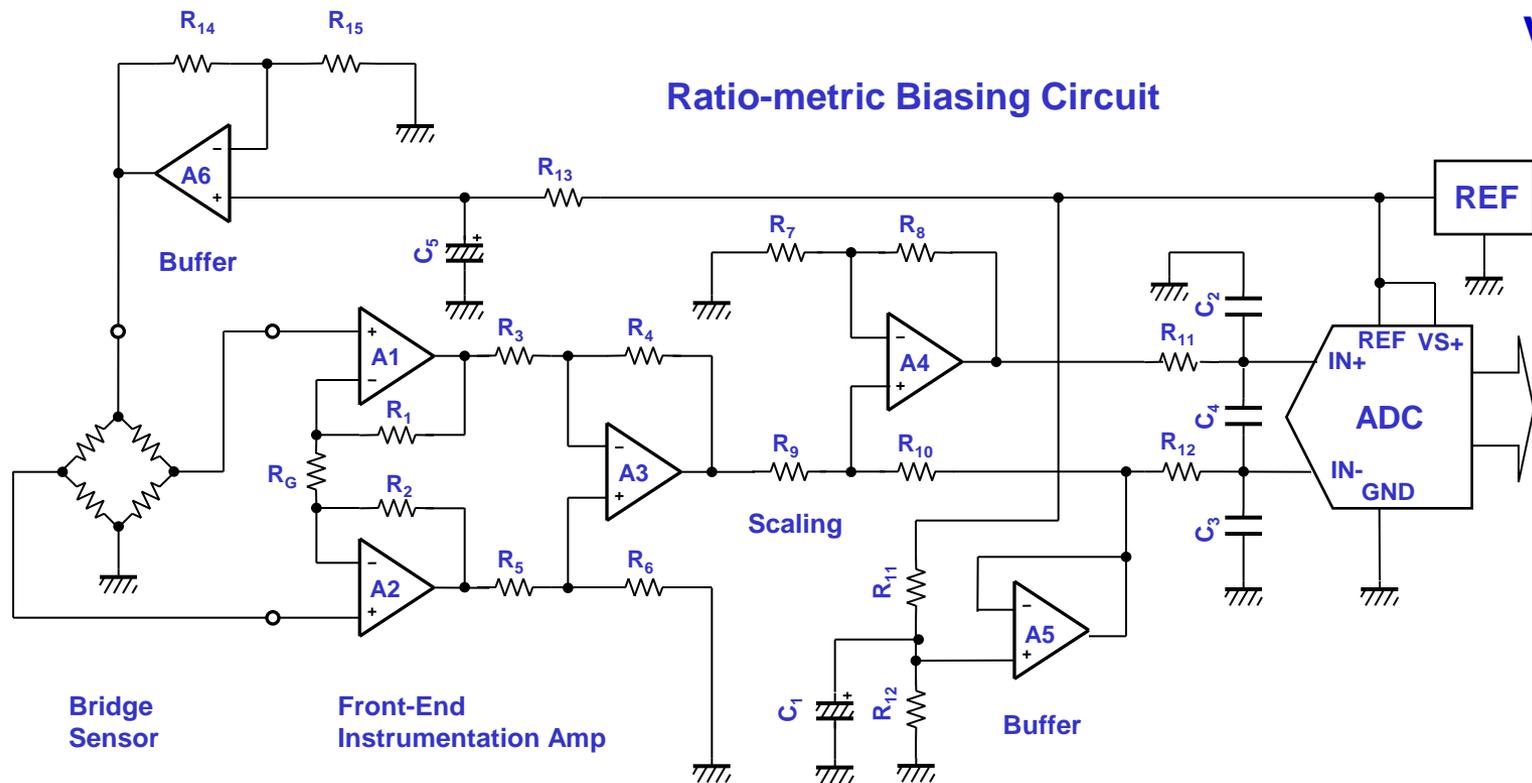


Let's learn Signal Chain

セッション2: TINA-TIによるオペアンプ動作の確認

Ver.-2



セッション・インデックス

✚ S2.1 TINA-TIの操作方法

- (1) シェル画面と作業の流れ
- (2) 回路図作成
- (3) 回路の仕上げ

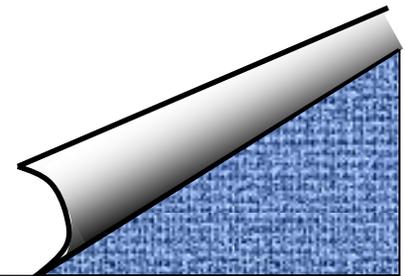
✚ S2.2 演習によるオペアンプ動作の確認

演習1: 反転アンプのDC解析

演習2: 非反転アンプのDC解析

演習3: 差動アンプのDC解析

演習4: 計測アンプのDC解析



✦ S2.1 TINA-TIの操作方法

(1) シェル画面と作業の流れ

(2) 回路図作成

(3) 回路の仕上げ

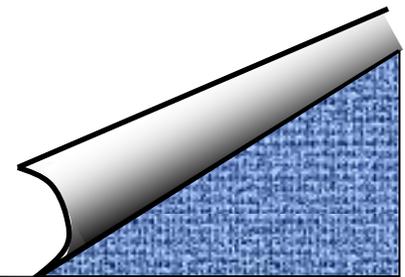
✦ S2.2 演習によるオペアンプ動作の確認

演習1: 反転アンプのDC解析

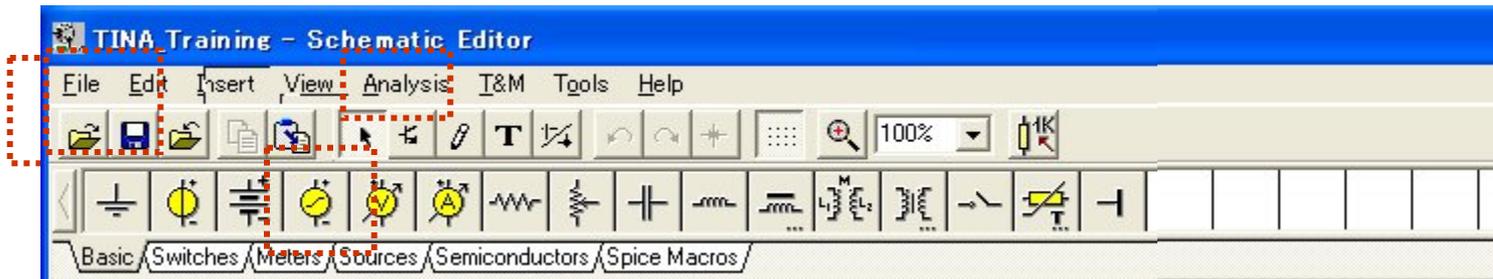
演習2: 非反転アンプのDC解析

演習3: 差動アンプのDC解析

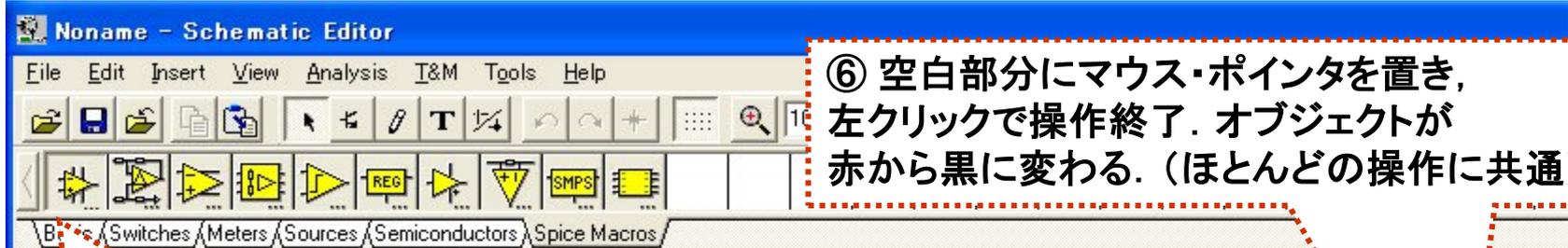
演習4: 計測アンプのDC解析



シェル画面と作業の流れ



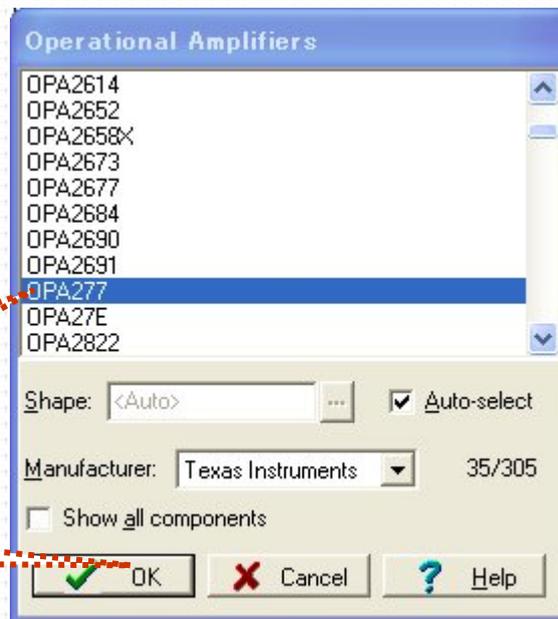
回路図作成: マクロの選択と配置



⑥ 空白部分にマウス・ポインタを置き、左クリックで操作終了. オブジェクトが赤から黒に変わる. (ほとんどの操作に共通)

② オペアンプ・シンボルを選択

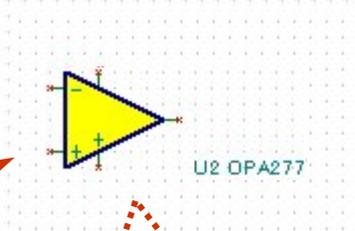
① “Spice Macros”のタグをクリック



③ ターゲットを選択

④ “OK”ボタン

⑤ ドラッグして左クリックで配置



回路図作成: 周辺部品を選択と配置

Noname - Schematic Editor

File Edit Insert View Analysis I&M Tools Help

Basic Switches Meters Sources Semiconductors Spice Macros

① “Basic”のタグをクリック

② 抵抗シンボルを選択

③ ドラッグして左クリックで配置

④ 同様にグランド・シンボルを配置

⑤ 右クリック・メニューの“Last Component”を選択すると、自動的に直前の部品(グランド)が現れる

Cancel Mode

Last Component

Auto Repeat

Wire

✓ Auto Wire

Delete

Rotate Left

Rotate Right

Mirror

Properties...

U1 OPA277

R2 1k

R1 1k

回路図作成: 配線作業

The screenshot shows the Schematic Editor interface with a circuit diagram. The circuit includes two resistors, R1 (1k) and R2 (1k), connected to the non-inverting input of an operational amplifier, U1 (OPA277). The op-amp is configured as a voltage follower. The circuit is connected to ground.

① 鉛筆のシンボルを選択

② ノード・ピンに鉛筆ポインタを合わせ左クリックでスタート

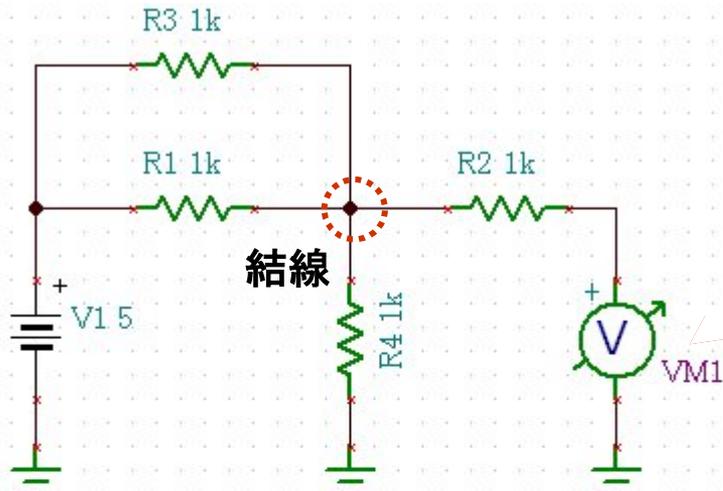
③ 左クリックでストップ

④ 配線モードを抜けるには矢印ボタンを押すか...

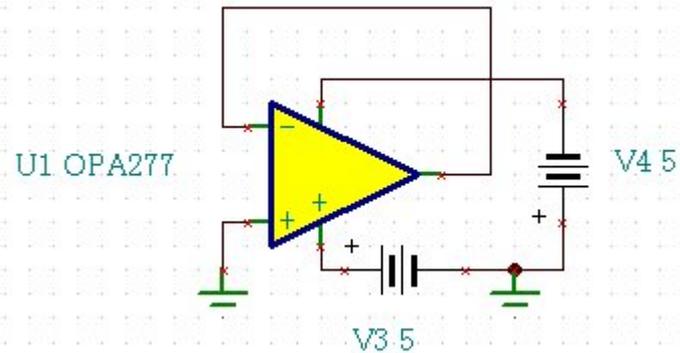
⑤ 右クリック・メニューの“Cancel Mode”を選択

Cancel Mode
Last Component
Auto Repeat
Wire
✓ Auto Wire
Delete
Rotate Left
Rotate Right
Mirror
Properties...
Enter Macro

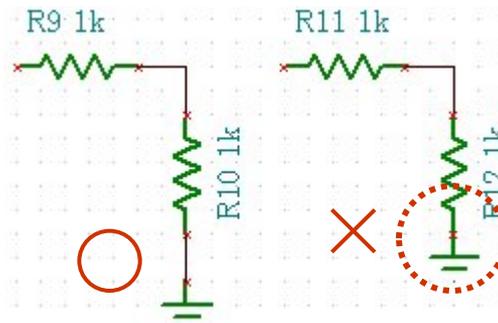
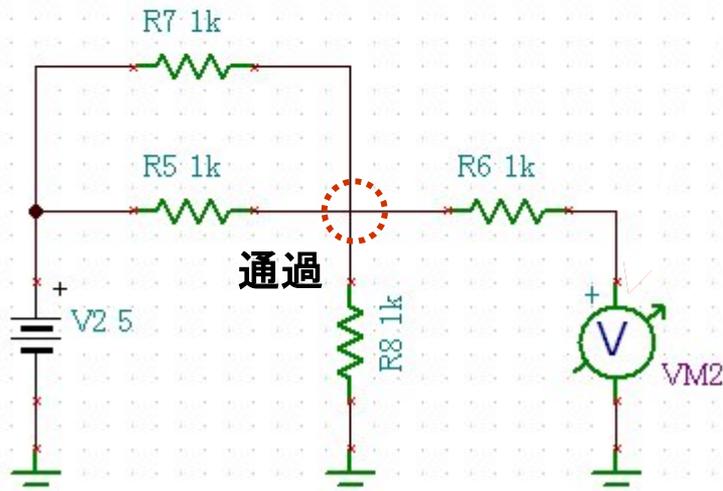
回路図作成: 配線での注意事項



TINA-TIでは受動部品だけのシミュレーションは不可.

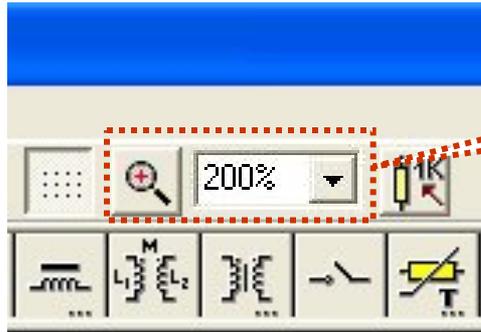


正常に差動するダミーを入れる



シンボルどうしを直接つけない.
ERCで未配線扱いとなる

回路図作成: 画面の拡大方法と配線の修正



① 表示サイズを100%(デフォルト)から200%に変更

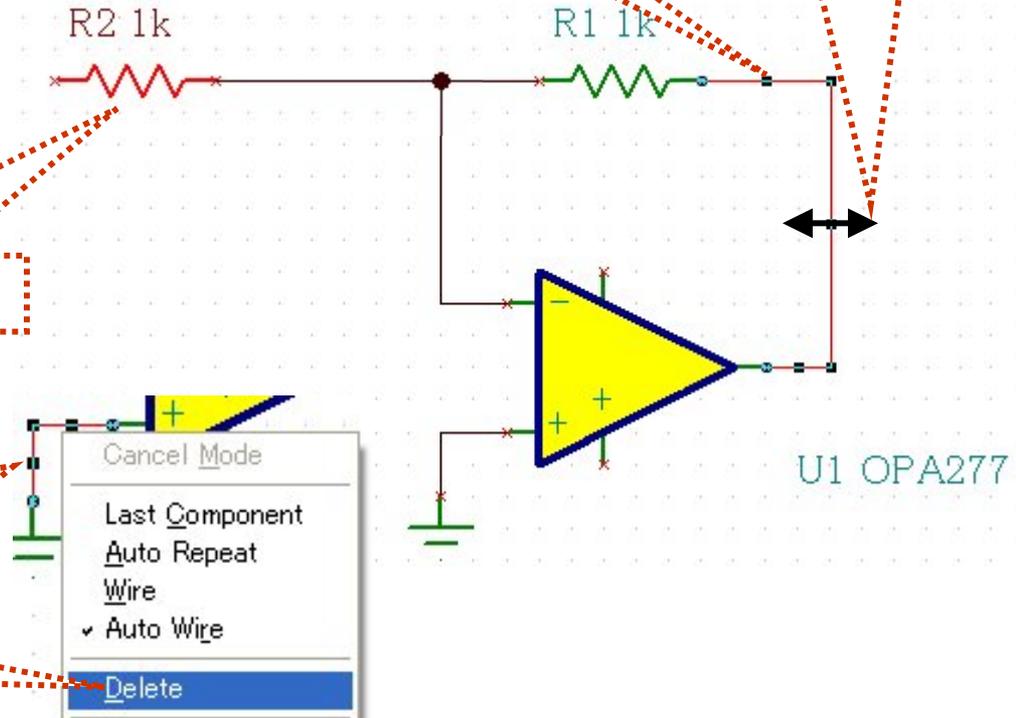
② 配線を選択

③ マーカをドラッグして長さを調整

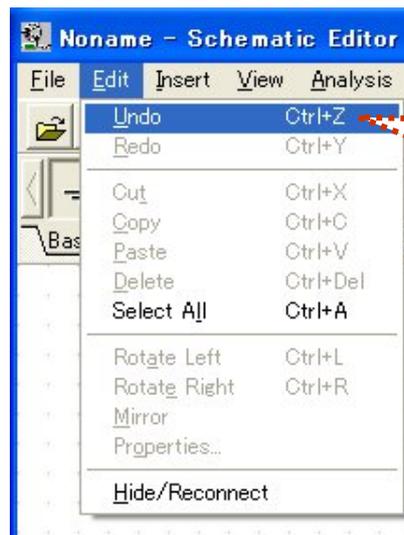
④ 部品を選択して移動

⑤ 配線の消去はターゲットを選択し“Delete”キーで消去するか...

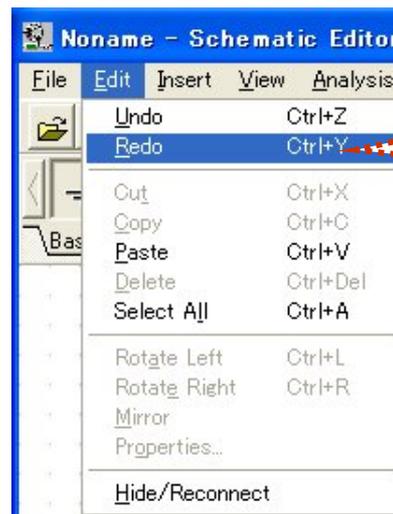
⑥ 右クリック・メニューの“Delete”で消去する



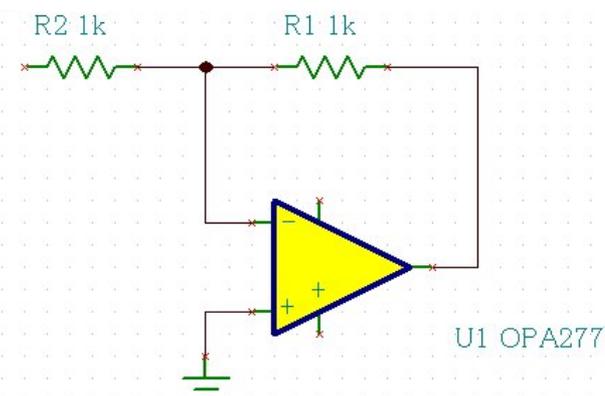
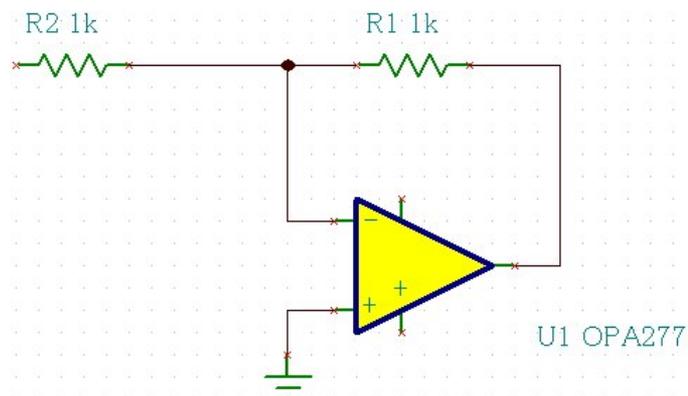
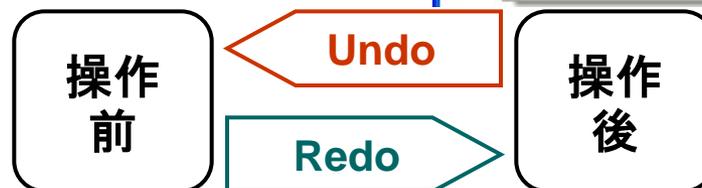
回路図作成: 操作の“Undo”と“Redo”



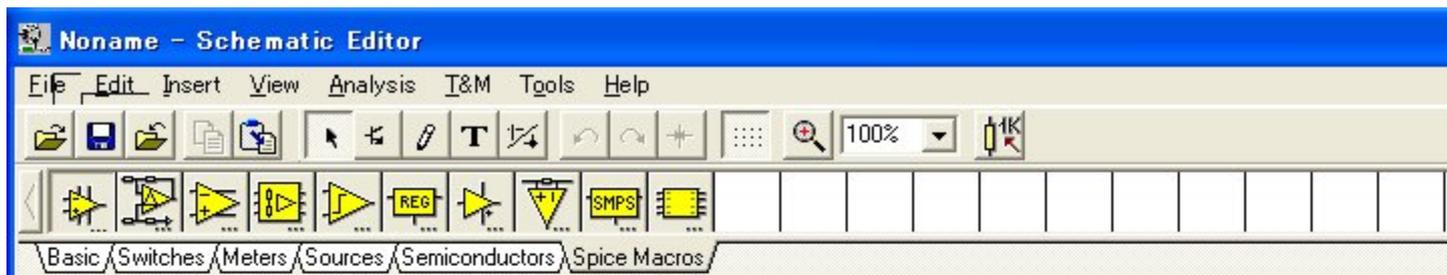
“Edit”メニューの
“Undo”で直前の
操作を取り消せる



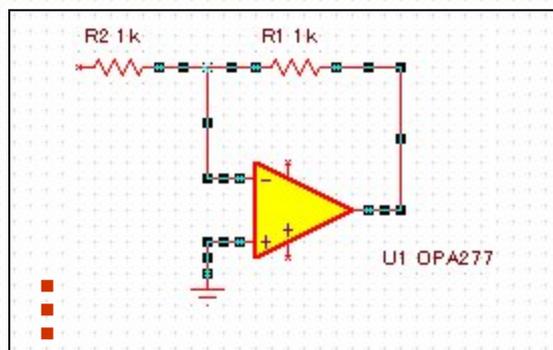
“Edit”メニューの
“Redo”で直前の
操作を復活できる



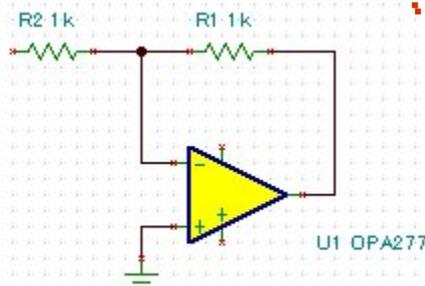
回路図作成:オブジェクトの移動



① オブジェクト全体を選択



② ドラッグして移動



③ 空白部分を左クリックし操作終了



回路図作成:コピーと貼り付け

② “Edit”メニューの“Copy”を選択

③ “Edit”メニューの“Paste”を選択

③ 空白部分を左クリックし操作終了

① オブジェクト全体を選択

④ 適切な位置へ配置

回路図作成:ミラーリングによるオブジェクトの反転

The screenshot shows the TINA Training - Schematic Editor interface. The 'Edit' menu is open, with 'Mirror' selected. The toolbar shows the 'Rotate right' button highlighted. A circuit diagram is displayed with two operational amplifiers, U1 OPA277 and U2 OPA277, and resistors R1 1k, R2 1k, R3 1k, and R4 1k. A right-click context menu is also shown, with 'Mirror' selected.

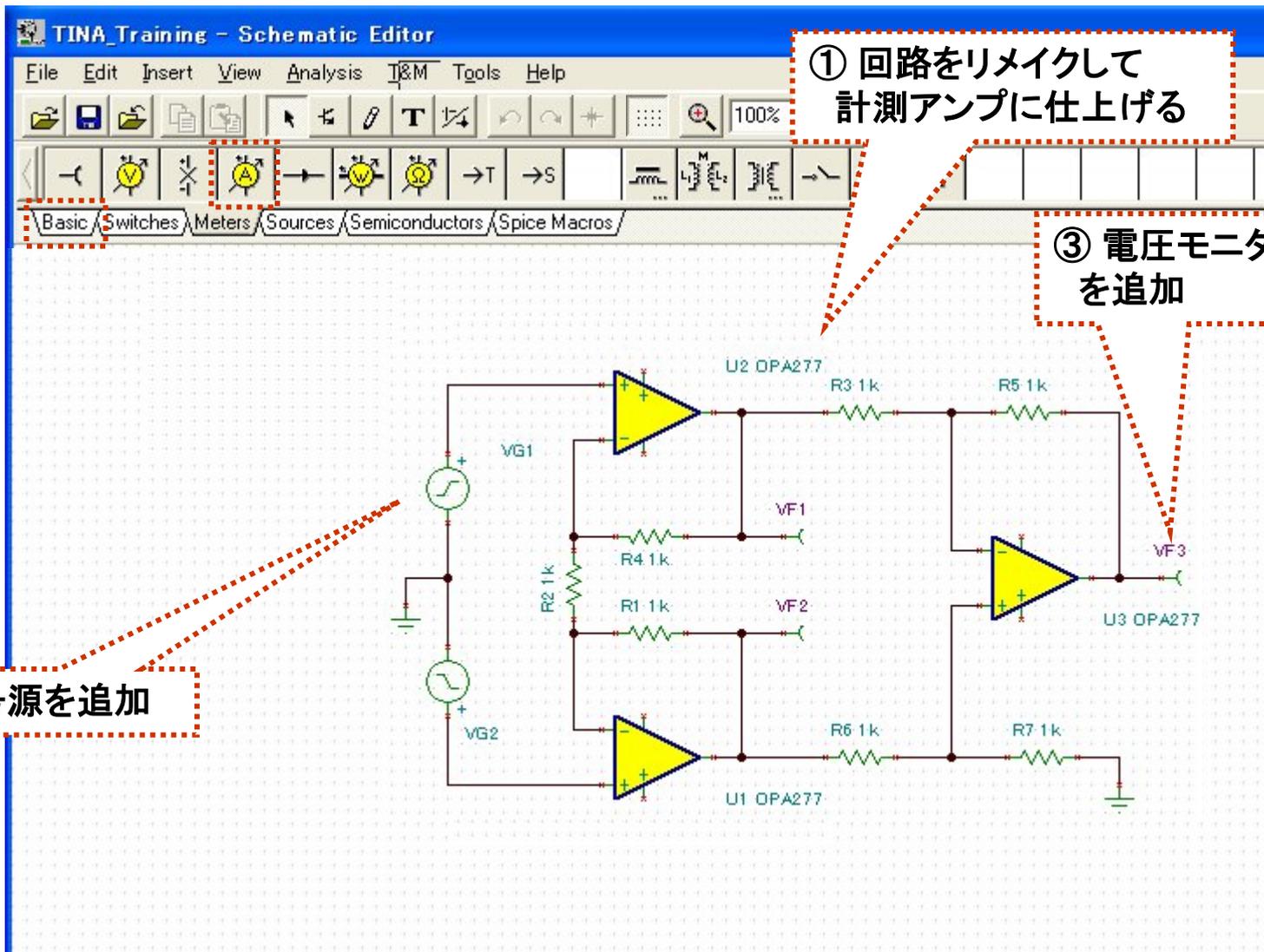
① 選択された状態で

② “Edit”メニューの“Mirror”を選択

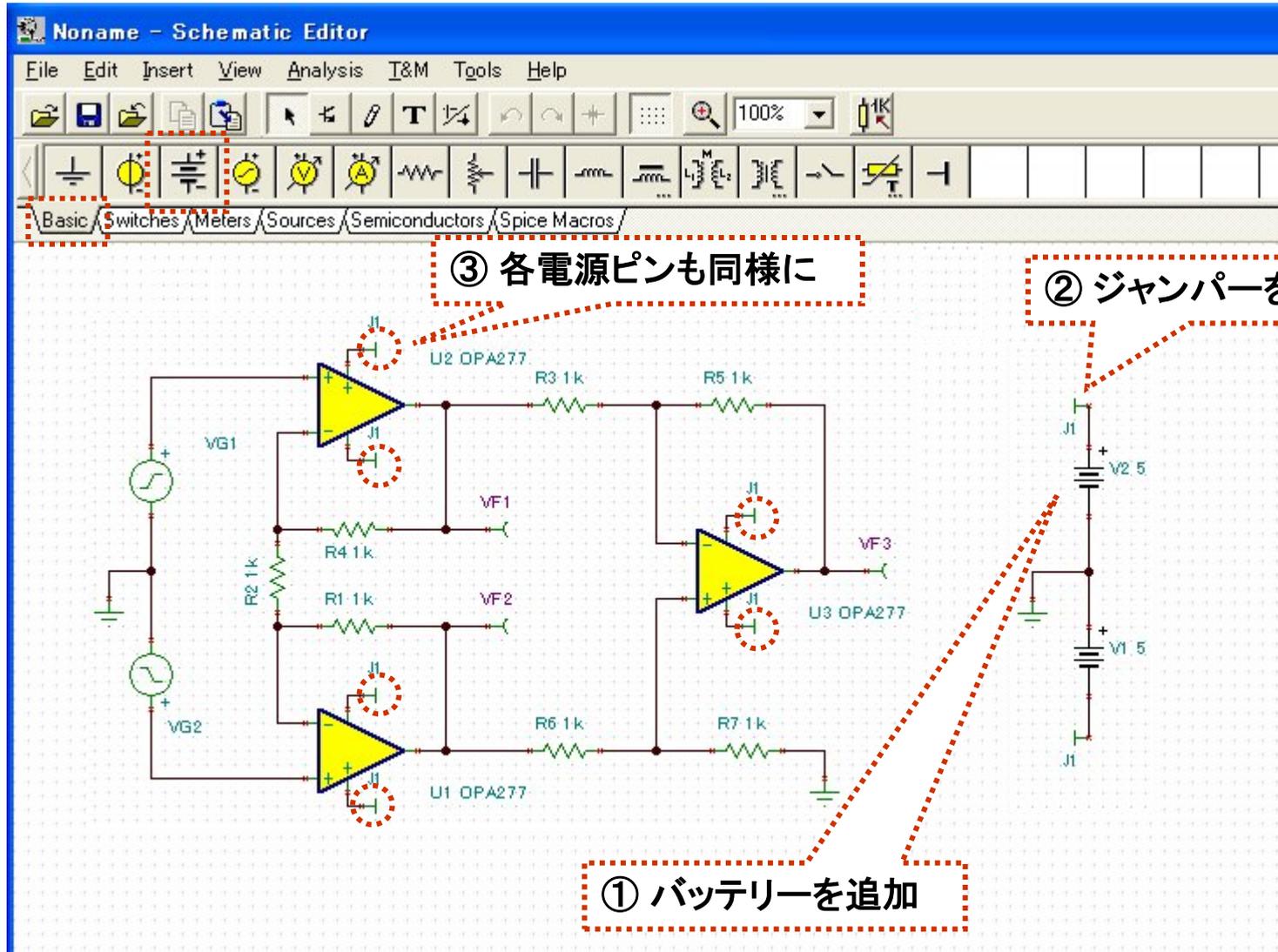
③ 右回転ボタンを2回押す

④ 右クリック・メニューの“Mirror”でも同様の操作が可能

回路図の仕上げ: 信号源とモニター・ピンの追加



回路図の仕上げ: 電源の準備と配線



回路図の仕上げ:テキスト移動とラベルの変更

① オブジェクトを選択

② ドラッグして移動

③ 同様にドラッグ

④ リネームする
オブジェクトを選択

⑤ 右クリック・メニューで
“Properties”を選択すると
上のダイアログ・ボックスが
現れる(Wクリックでも良い)

⑥ “J1”を“-VS”に書き換える

⑦ タイトルも“-VS”に変わる

⑧ タイトルも“-VS”に変わる

⑨ タイトルも“-VS”に変わる

⑩ タイトルも“-VS”に変わる

⑪ タイトルも“-VS”に変わる

⑫ タイトルも“-VS”に変わる

⑬ タイトルも“-VS”に変わる

⑭ タイトルも“-VS”に変わる

⑮ タイトルも“-VS”に変わる

⑯ タイトルも“-VS”に変わる

⑰ タイトルも“-VS”に変わる

⑱ タイトルも“-VS”に変わる

⑲ タイトルも“-VS”に変わる

⑳ タイトルも“-VS”に変わる

㉑ タイトルも“-VS”に変わる

㉒ タイトルも“-VS”に変わる

㉓ タイトルも“-VS”に変わる

㉔ タイトルも“-VS”に変わる

㉕ タイトルも“-VS”に変わる

㉖ タイトルも“-VS”に変わる

㉗ タイトルも“-VS”に変わる

㉘ タイトルも“-VS”に変わる

㉙ タイトルも“-VS”に変わる

㉚ タイトルも“-VS”に変わる

㉛ タイトルも“-VS”に変わる

㉜ タイトルも“-VS”に変わる

㉝ タイトルも“-VS”に変わる

㉞ タイトルも“-VS”に変わる

㉟ タイトルも“-VS”に変わる

㊱ タイトルも“-VS”に変わる

㊲ タイトルも“-VS”に変わる

㊳ タイトルも“-VS”に変わる

㊴ タイトルも“-VS”に変わる

㊵ タイトルも“-VS”に変わる

㊶ タイトルも“-VS”に変わる

㊷ タイトルも“-VS”に変わる

㊸ タイトルも“-VS”に変わる

㊹ タイトルも“-VS”に変わる

㊺ タイトルも“-VS”に変わる

㊻ タイトルも“-VS”に変わる

㊼ タイトルも“-VS”に変わる

㊽ タイトルも“-VS”に変わる

㊾ タイトルも“-VS”に変わる

㊿ タイトルも“-VS”に変わる

Cancel Mode
Last Component
Auto Repeat
Wire
Auto Wire
Delete
Rotate Left
Rotate Right
Mirror
Properties...
Enter Macro

回路図の仕上げ: 各部品デフォルト値を実際の値へ変更

バッテリー電圧 5V (変更前)

V2 - Battery	
Label	V2
Parameters	(Parameters)
Voltage [V]	5 <input checked="" type="checkbox"/>
Internal resistance [Ohm]	0 <input type="checkbox"/>
ID state	None
Fault	None

50m

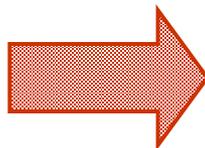
OK Cancel Help

バッテリー電圧 15V (変更後)

V2 - Battery	
Label	V2
Parameters	(Parameters)
Voltage [V]	15 <input checked="" type="checkbox"/>
Internal resistance [Ohm]	0 <input type="checkbox"/>
ID state	None
Fault	None

150m

OK Cancel Help



R4 抵抗値 1kΩ (変更前)

R4 - Resistor	
Label	R4
Parameters	(Parameters)
Resistance [Ohm]	1k <input checked="" type="checkbox"/>
Power [W]	1 <input type="checkbox"/>
Temperature	Relative
Temperature [C]	0 <input type="checkbox"/>
Linear temp. coef. [1/C]	0 <input type="checkbox"/>
Quadratic temp. coef. [1/C²]	0 <input type="checkbox"/>
Exponential temp. coef. [%/C]	0 <input type="checkbox"/>
Maximum voltage [V]	100 <input type="checkbox"/>
Fault	None

10

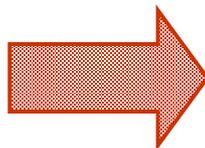
OK Cancel Help

R4 → RA, 抵抗値 25kΩ (変更後)

RA - Resistor	
Label	RA
Parameters	(Parameters)
Resistance [Ohm]	25k <input checked="" type="checkbox"/>
Power [W]	1 <input type="checkbox"/>
Temperature	Relative
Temperature [C]	0 <input type="checkbox"/>
Linear temp. coef. [1/C]	0 <input type="checkbox"/>
Quadratic temp. coef. [1/C²]	0 <input type="checkbox"/>
Exponential temp. coef. [%/C]	0 <input type="checkbox"/>
Maximum voltage [V]	100 <input type="checkbox"/>
Fault	None

250

OK Cancel Help



回路図の仕上げ: 好みに応じてラベルをリネーム

電圧モニター・ピン VF1 (変更前)

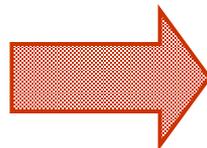
VF1 - Voltage Pin	
Label	VF1
Parameters	(Parameters)
IO state	Output

OK Cancel Help

電圧モニター・ピン EO_A (変更後)

EO_A - Voltage Pin	
Label	EO_A
Parameters	(Parameters)
IO state	Output

OK Cancel Help



IC番号 U1 (変更前)

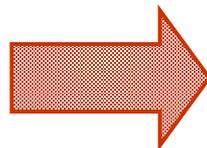
U1 - OPA277	
Label	U1
Parameters	(Parameters)
SubCkt-(Shape)	Amp5-T1
SubCkt-(Content)	
SubCkt-Parameters	<input type="checkbox"/>
SubCkt-Optional nodes	

OK Cancel Help Enter Macro

IC番号 UA (変更後)

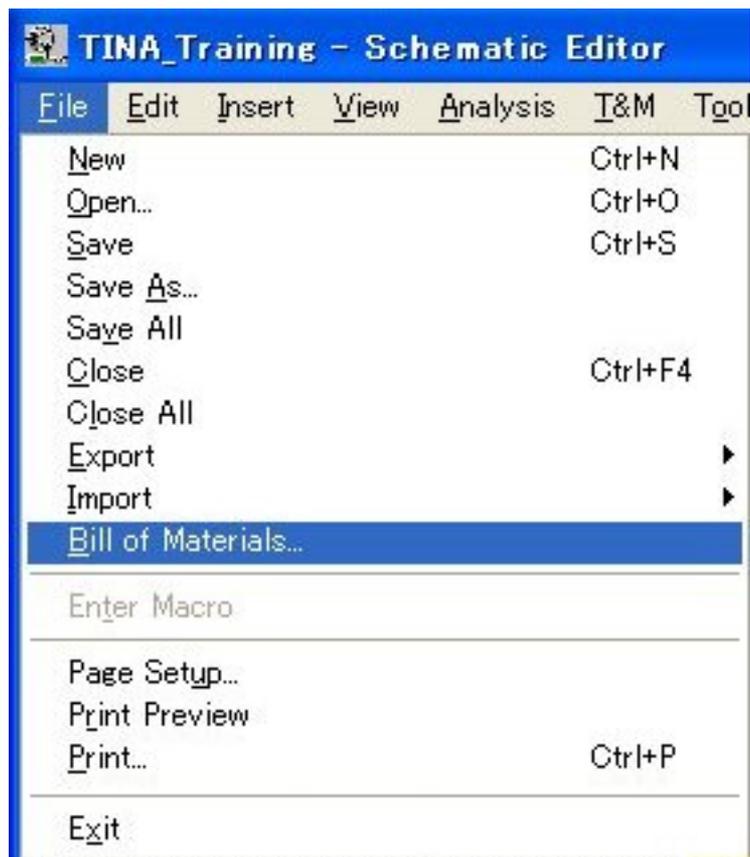
UA - OPA277	
Label	UA
Parameters	(Parameters)
SubCkt-(Shape)	Amp5-T1
SubCkt-(Content)	
SubCkt-Parameters	<input type="checkbox"/>
SubCkt-Optional nodes	

OK Cancel Help Enter Macro



回路図の仕上げ: 部品表“BOM”の表示(参考)

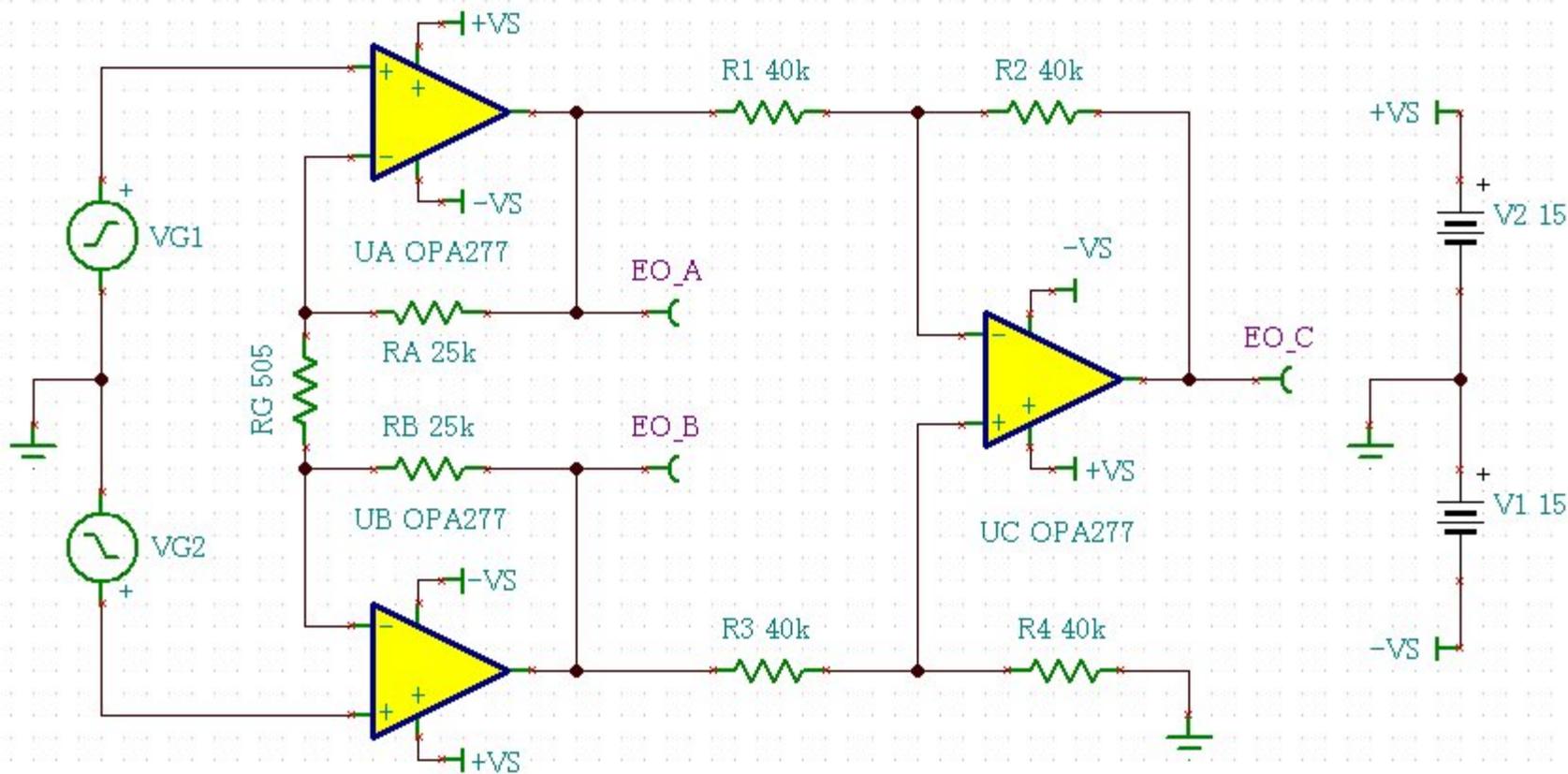
“File”メニューの“Bill of Materials”により部品表が生成される。



#	Quantity	Label	Value
1	1	V1	15
2	1	V2	15
3	1	RA	25k
4	1	RB	25k
5	1	VG1	4.99
6	1	R1	40k
7	1	R2	40k
8	1	R3	40k
9	1	R4	40k
10	1	VG2	5.01
11	1	RG	505
12	1	UA	OPA277
13	1	UB	OPA277
14	1	UC	OPA277
15	1	EO_A	
16	1	EO_B	
17	1	EO_C	

回路図の仕上げ: 完成した回路図

ゲイン100倍の計測アンプ



記事: 回路定数はINA128の値を使用した.

✚ S2.1 TINA-TIの操作方法

- (1) シェル画面と作業の流れ
- (2) 回路図作成
- (3) 回路の仕上げ

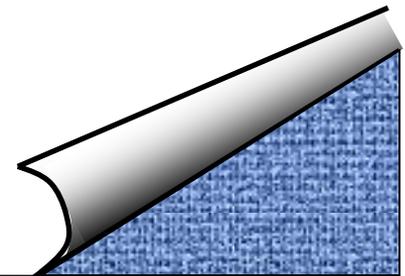
✚ S2.2 演習によるオペアンプ動作の確認

演習1: 反転アンプのDC解析

演習2: 非反転アンプのDC解析

演習3: 差動アンプのDC解析

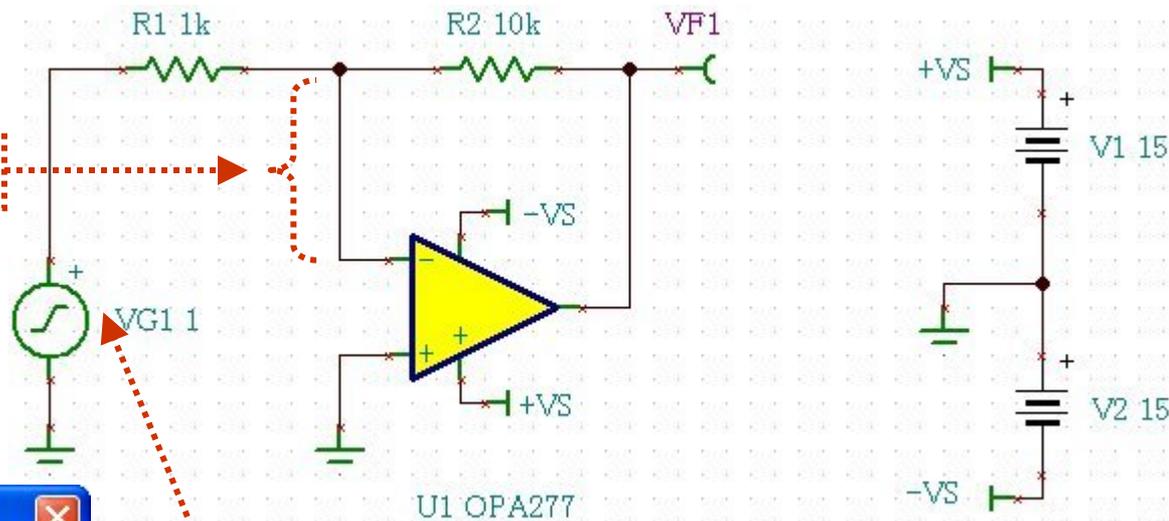
演習4: 計測アンプのDC解析



演習1: 反転アンプのDC解析, 回路図の作成

下図の回路を作成してください。

配線長をグリッド 8~10 程度に



VG1 - Voltage Generator

Label	VG1	
Parameters	(Parameters)	
DC Level [V]	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Signal	Unit step	
Internal resistance [Ohm]	0	<input type="checkbox"/>
ID state	Input	
Fault	None	

10m

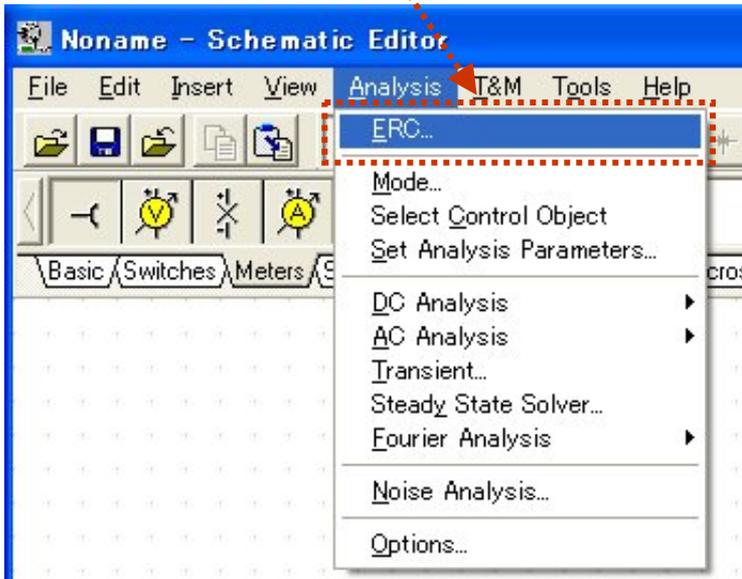
OK Cancel Help

“DC Level”を“1V”に設定する。
右のボックスにチェック・マークを
入れて数値を図面上に表示させる。

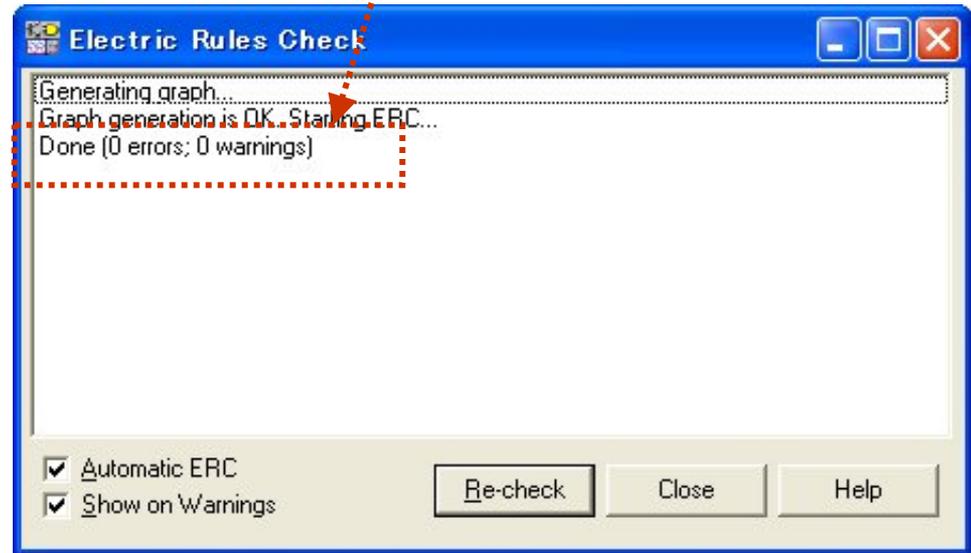
記事: 作成した回路はファイル名“Inv_Amp”でセーブ。

演習1: 反転アンプのDC解析, 回路チェック

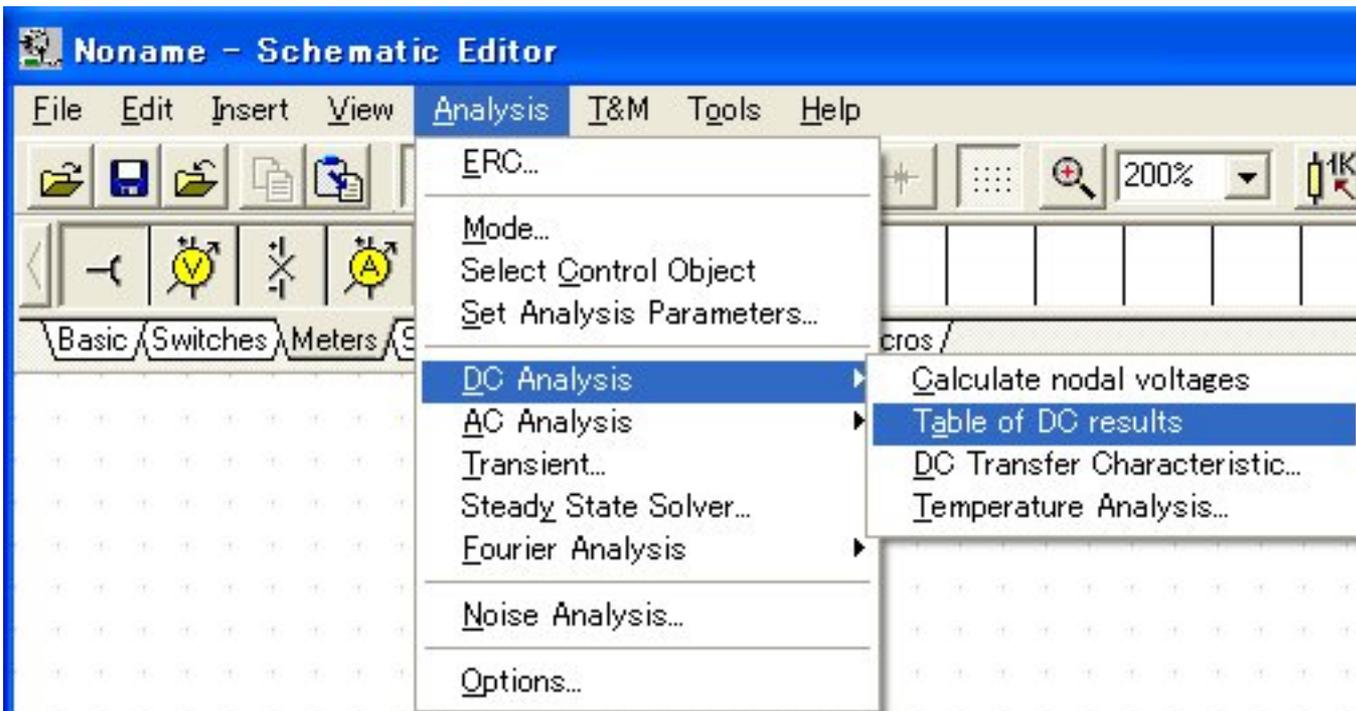
“Analysis”メニューの“ERC”を選択して配線抜けの有無をチェックする。



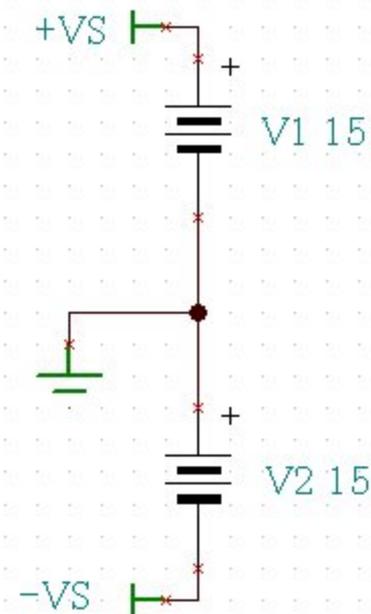
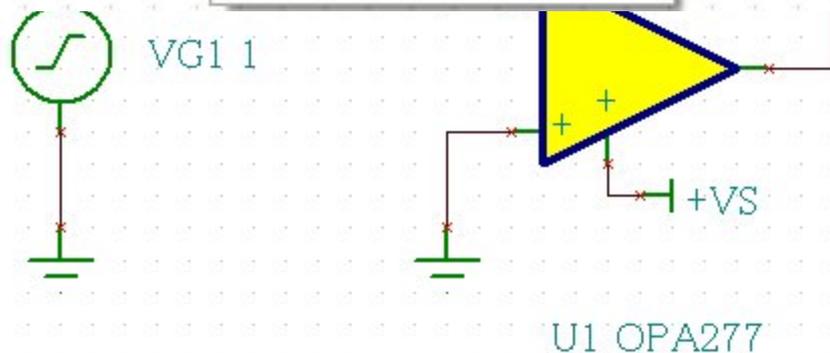
“Done(0 errors)”のコメントができればOK.



演習1: 反転アンプのDC解析, ノード電圧の表を求める

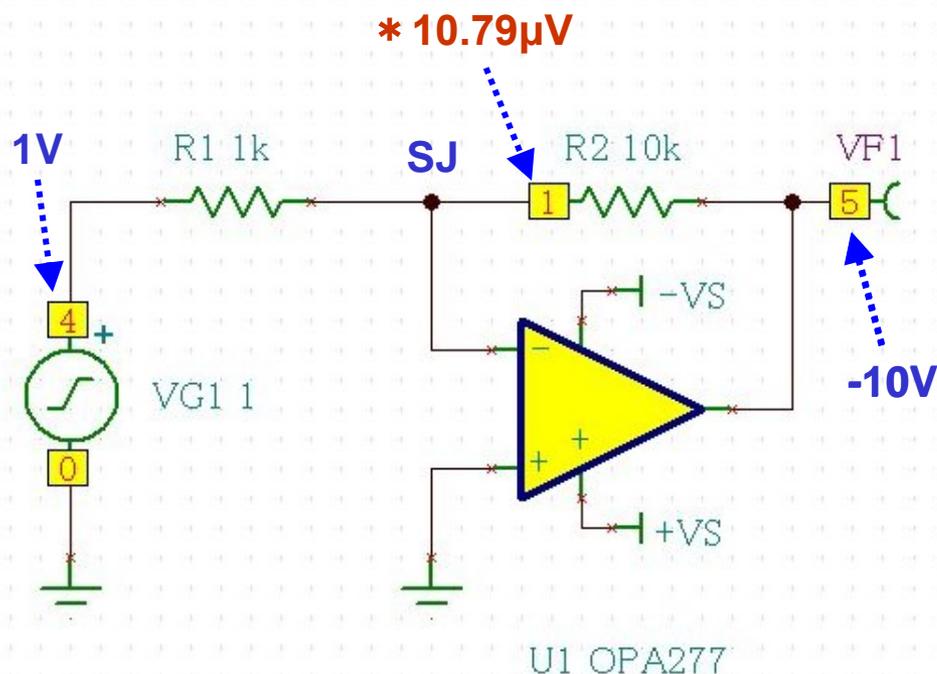


“Analysis”メニューから
“DC Analysis”の
“Table of DC Results”
を選択。



演習1: 反転アンプのDC解析, 生成されたノード電圧の表

バーチャル・ショートの確認



記事: SJ点はほぼ0Vと言えるが, わずかに誤差電圧が発生. 原因はオペアンプの...

- 入力オフセット電圧がゼロでない.
- 入力バイアス電流がゼロでない.

Node	Value
VF1	-10V
VP_1	10.79uV
VP_10	13.19V
VP_11	-13.19V
VP_12	-999.99mV
VP_13	35V
VP_14	-35V
VP_15	-720.43mV
VP_16	0V
VP_17	0V
VP_18	1.26fV
VP_19	-680.6mV
VP_2	15V
VP_20	10.31uV
VP_21	-643mV
VP_22	-236.02nV
VP_23	-643mV
VP_24	0V
VP_25	-10.05V
VP_3	-15V
VP_4	1V
VP_5	-10V
VP_6	14.62V
VP_7	14.62V
VP_8	27uV
VP_9	-10.05V

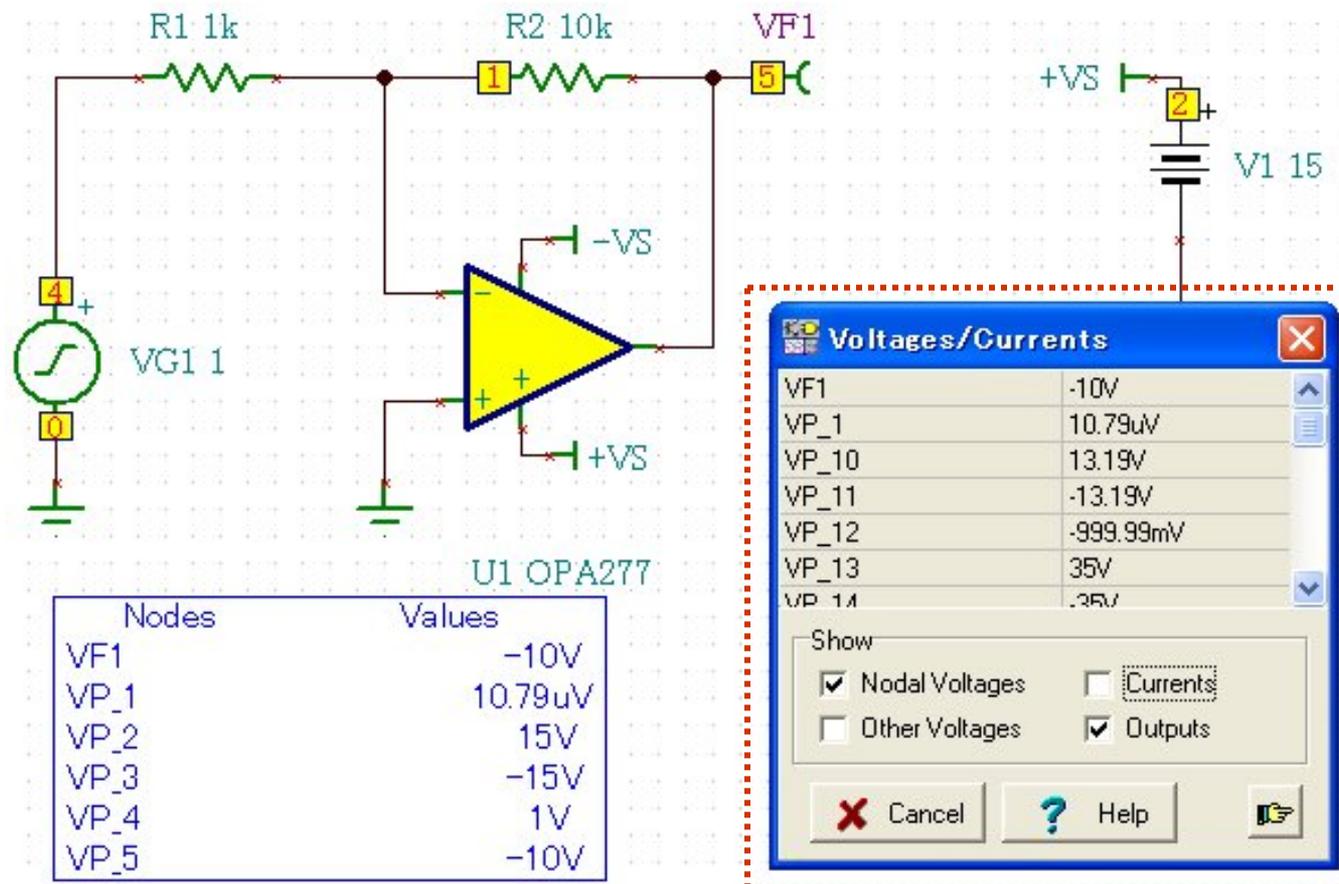
Buttons: Show, Nodal Voltages (checked), Other Voltages (unchecked), Currents (unchecked), Outputs (checked), Cancel, Help.

アンプの
内部電圧

表をテキスト
としてセーブ.

演習1: 反転アンプのDC解析, テキスト貼り付け機能

顧客にノード電圧表付の回路図を提出する場合に利用.

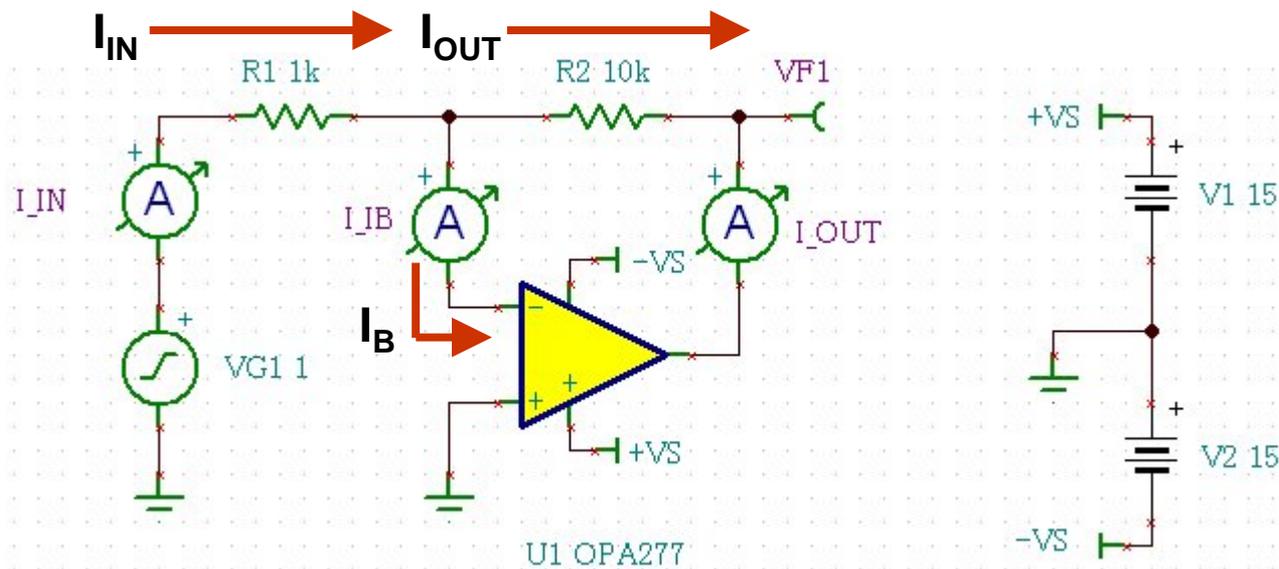


メモ帳からのコピー&ペースト(漢字は化ける)

これは図面上で見えない所へ隠す

演習1: 反転アンプのDC解析, 電流計を入れる

回路へ直列に電流計を入れて, I_{IN} , I_{OUT} , I_B を追加測定.

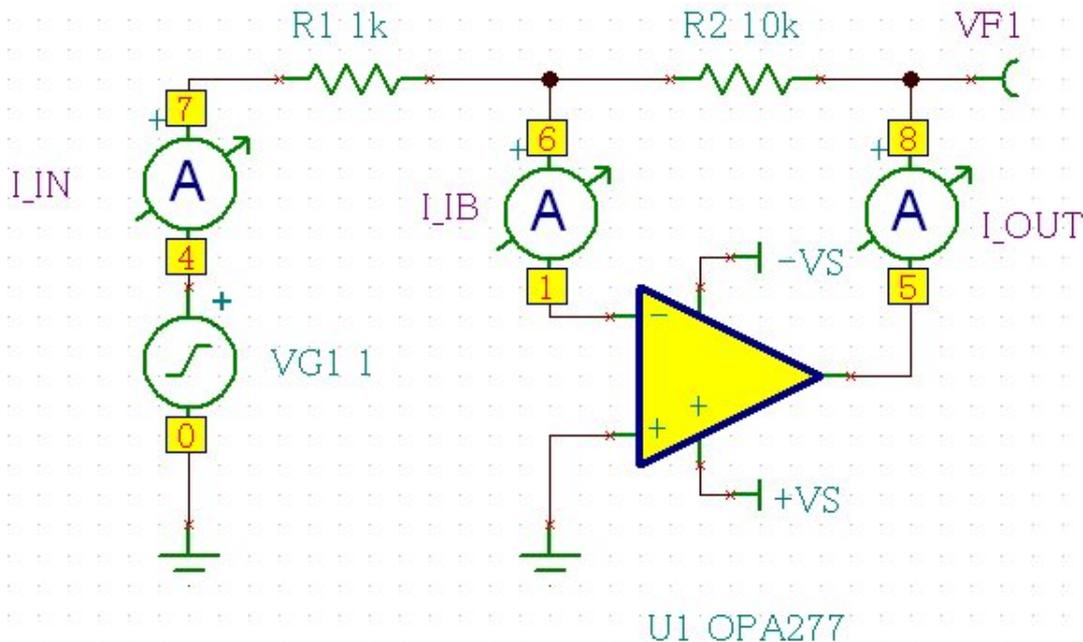


記事: 作成した回路はファイル名“Inv_Amp_M”でセーブ.

演習1: 反転アンプのDC解析, 電流測定 of 追加結果

現実のオペアンプでは I_B "Nodes= I_{IB} "がゼロでない。

テキスト・ファイルをExcelで処理した, 各ノードの電圧・電流一覧表



Nodes	Values
I_{IB}	486.66pA
I_{IN}	-999.99uA
I_{OUT}	999.99uA
VF1	-10V
VP_1	10.79uV
VP_2	15V
VP_3	-15V
VP_4	1V
VP_5	-10V
VP_6	10.79uV

記事: 理想の電流計なので両端の電圧降下は0V

演習1: 反転アンプのDC解析, 計算精度の変更

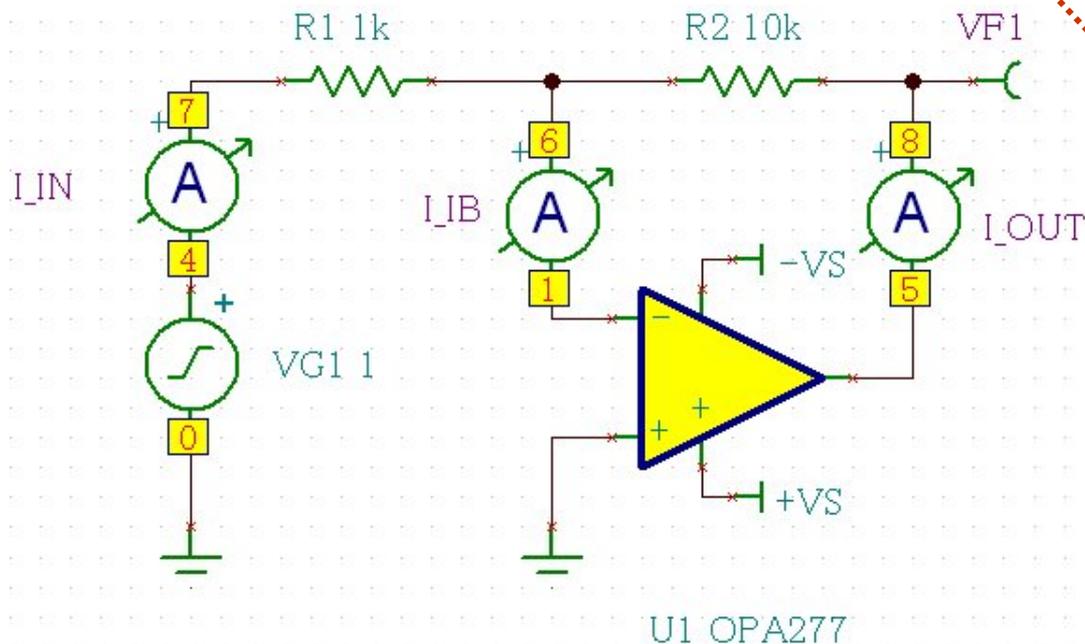
The screenshot shows the "Inverting_Amp - Schematic Editor" window. The "Analysis" menu is open, and the "Options..." option is selected. The "Analysis Options" dialog box is displayed, showing the "ERC" (Error Check and Report) tab. The "Numeric precision" is currently set to 2. A callout box points to this field with the text: "Numeric Precision"を2桁から4桁に変更すると, 少数点以下が4桁で計算される。

記事: シミュレーション時間とのトレードオフなので, 目的に合った設定を行う

演習1: 反転アンプのDC解析, 4桁のノード電圧・電流の表

小数点以下4桁の精度で誤差を確認

I_B が流れた分, I_{OUT} が目減りしたことが見える。



ノード電圧・電流の一覧表

Nodes	Values
I_{IB}	486.661pA
I_{IN}	-999.9892uA
I_{OUT}	999.9887uA
$VF1$	-9.9999V
VP_1	10.793uV
VP_2	15V
VP_3	-15V
VP_4	1V
VP_5	-9.9999V
VP_6	10.793uV

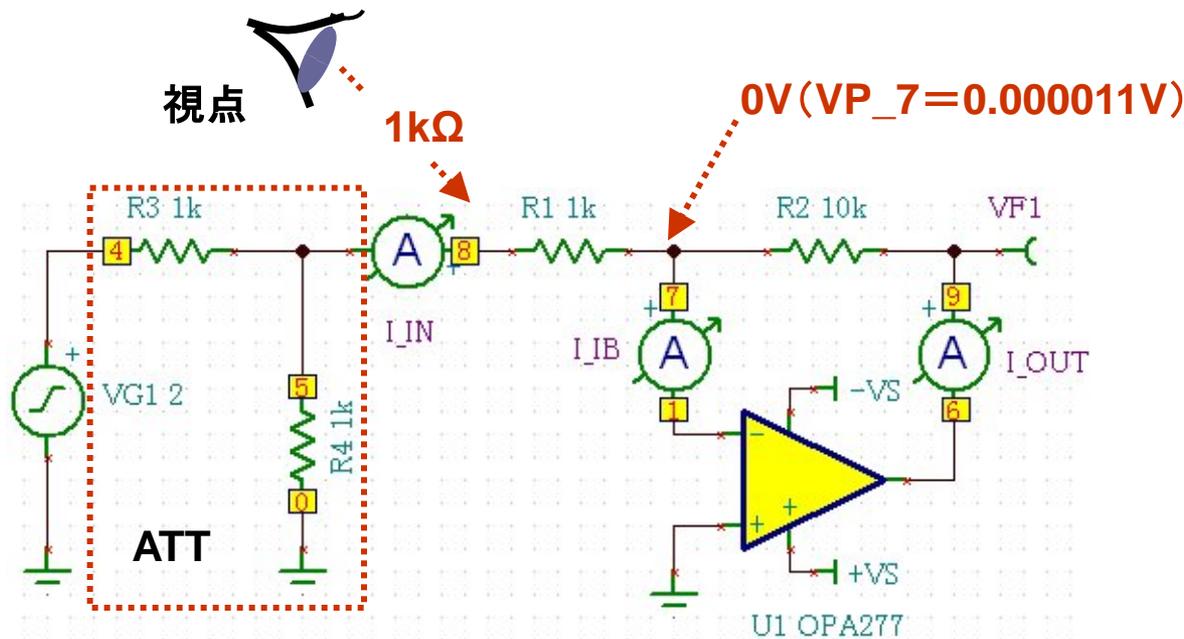
演習1: 反転アンプのDC解析, 入力抵抗の影響

“Inv_Amp_M”にATTを入れて下さい.

R1 がグランドに落ちているのと等価(バーチャル・グランド)なので,
反転入力側を外部からみると, 入力インピーダンスは1kΩとなる.

結果, R1 と R4 が並列接続(500Ω)となり所定の分圧比が得られない.

ノード電圧・電流の一覧表



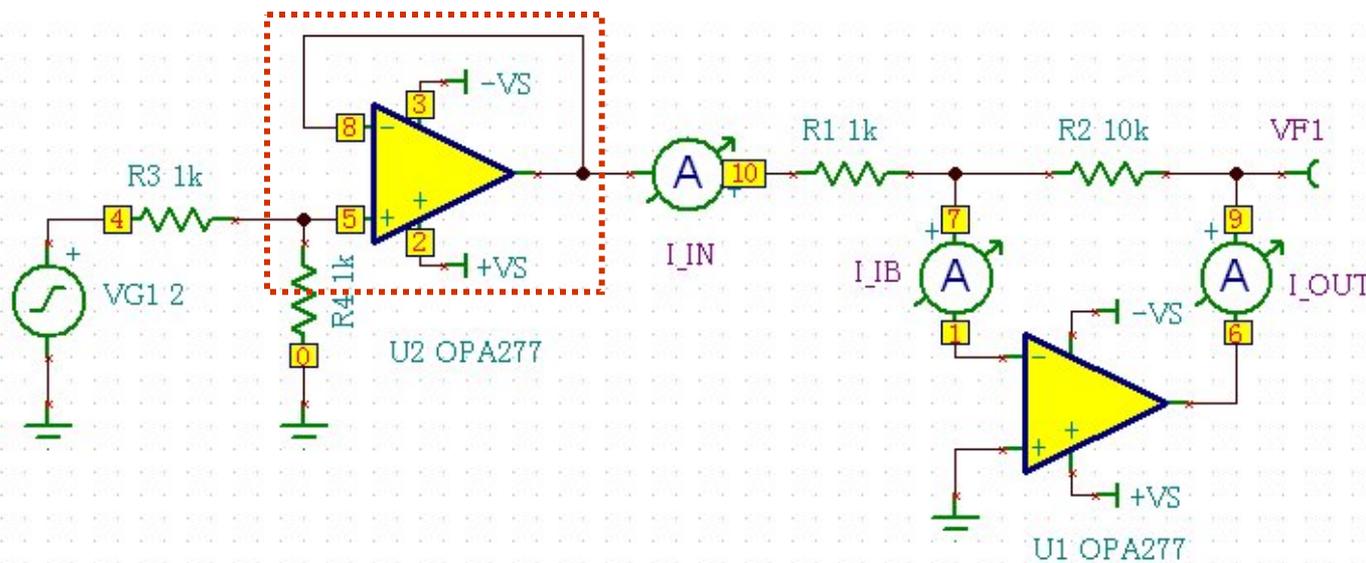
Nodes	Values
I_IB	486.6607pA
I_IN	-666.6595uA
I_OUT	666.6591uA
VF1	-6.6666V
VP_1	10.679uV
VP_2	15V
VP_3	-15V
VP_4	2V
VP_5	666.6702mV
VP_6	-6.6666V
VP_7	10.679uV
VP_8	666.6702mV
VP_9	-6.6666V

演習1: 反転アンプのDC解析, ボルテージ・フォロアの効用

ボルテージ・フォロアを追加して下さい。

高インピーダンスなボルテージ・フォロアでATTをうけることで、ATTと差動アンプの入カインピーダンス(1kΩ)を分離できる。

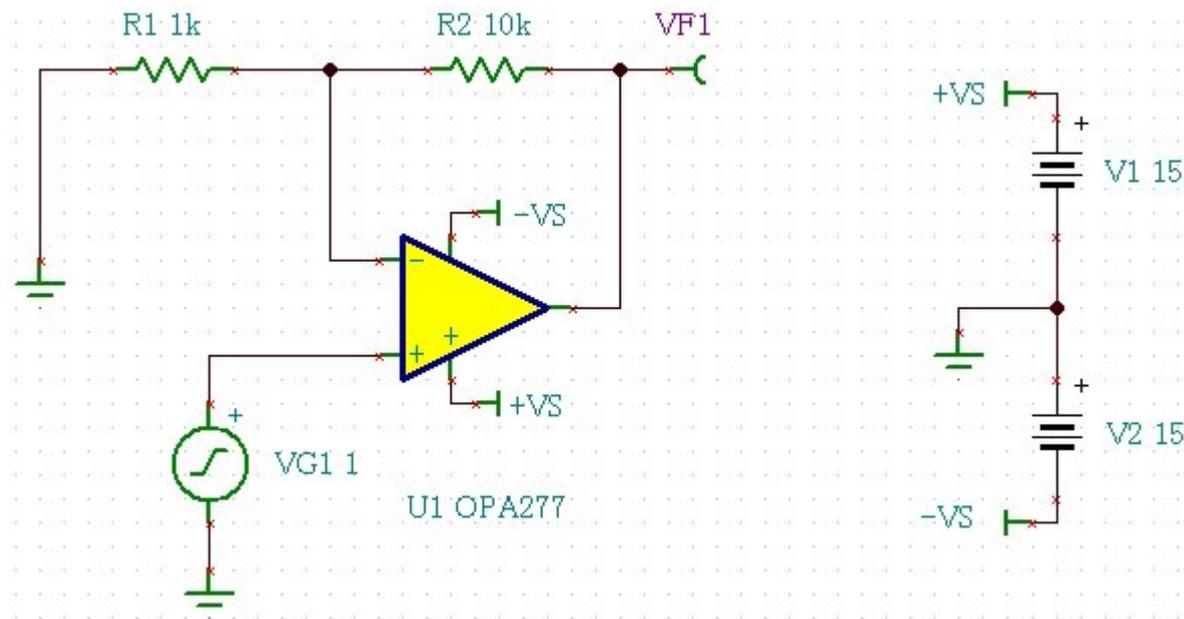
ノード電圧・電流の一覧表



Nodes	Values
I_IB	486.661pA
I_IN	-999.9995uA
I_OUT	999.999uA
VF1	-10V
VP_1	10.7929uV
VP_10	1V
VP_2	15V
VP_3	-15V
VP_4	2V
VP_5	999.9999mV
VP_6	-10V
VP_7	10.7929uV
VP_8	1V
VP_9	-10V

演習2: 非反転アンプのDC解析, 回路図の作成

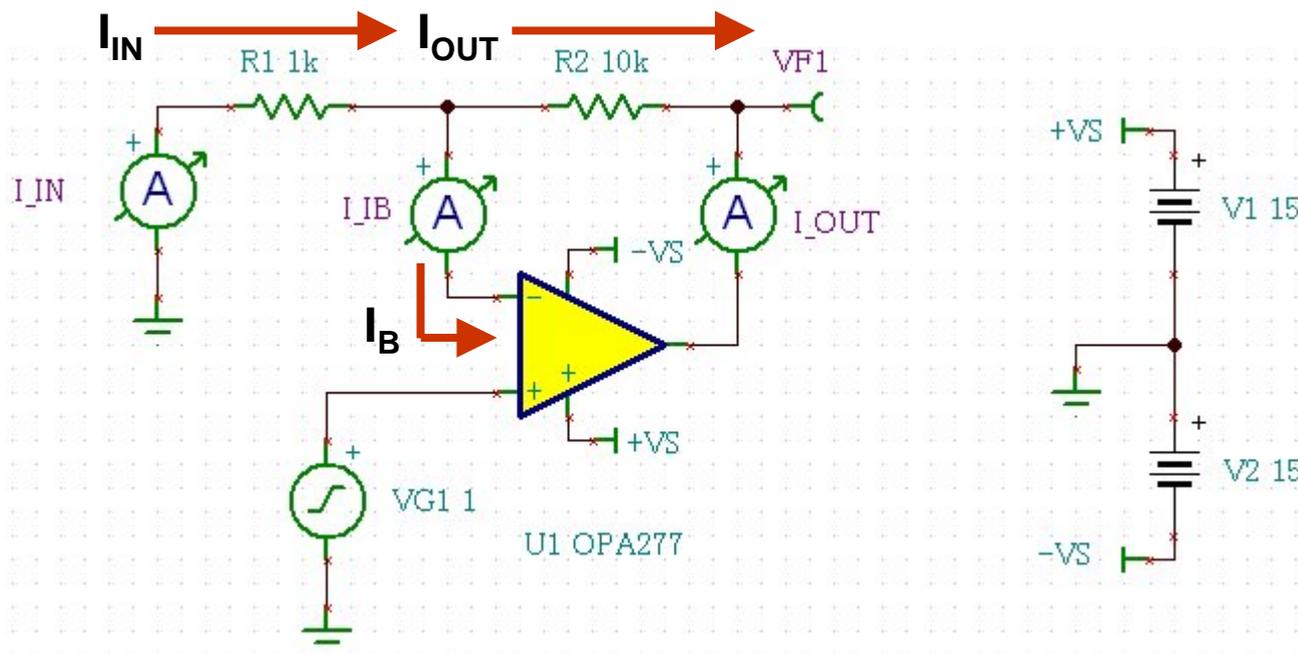
“Inv_Amp”を読み込み、下図のように改造してください。



記事: 作成した回路をファイル名“Non_Inv_Amp”でセーブ.

演習1: 非反転アンプのDC解析, 電流計を入れる

回路へ直列に電流計を入れて, I_{IN} , I_{OUT} , I_B を追加測定.

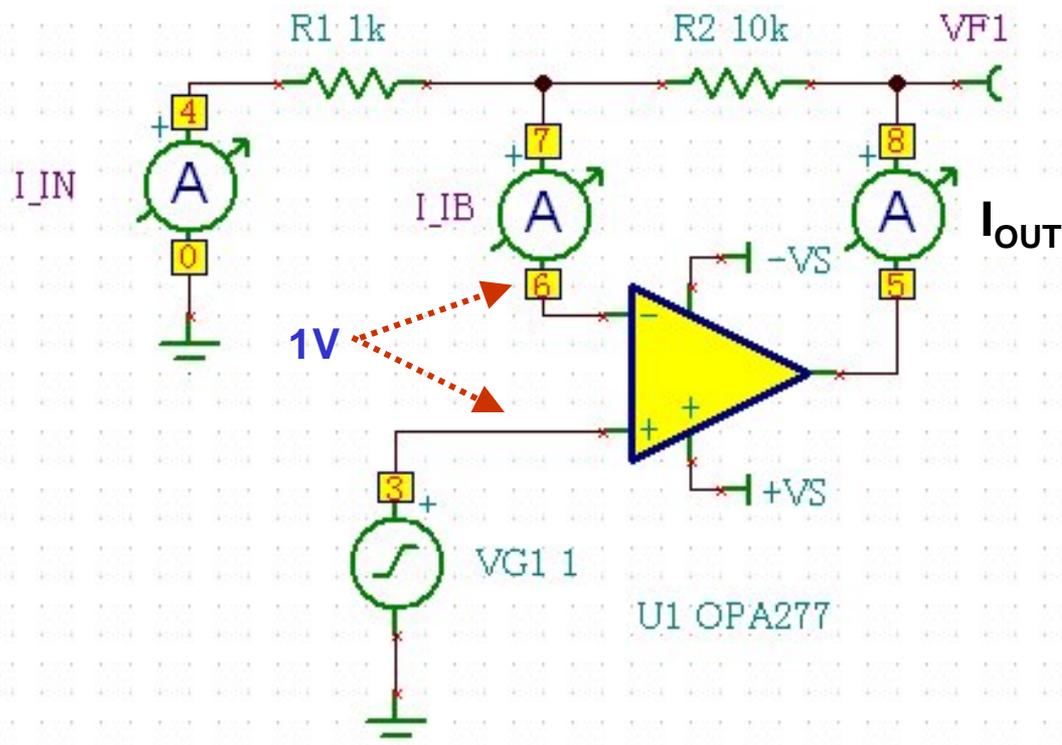


記事: 作成した回路をファイル名“Non_Inv_Amp_M”でセーブ.

演習2: 非反転アンプのDC解析, ノード電圧・電流の表

バーチャル・ショートによりゲインが $1 + R_2/R_1$ になっている。

桁不足で I_B による I_{OUT} の目減りが見えない。



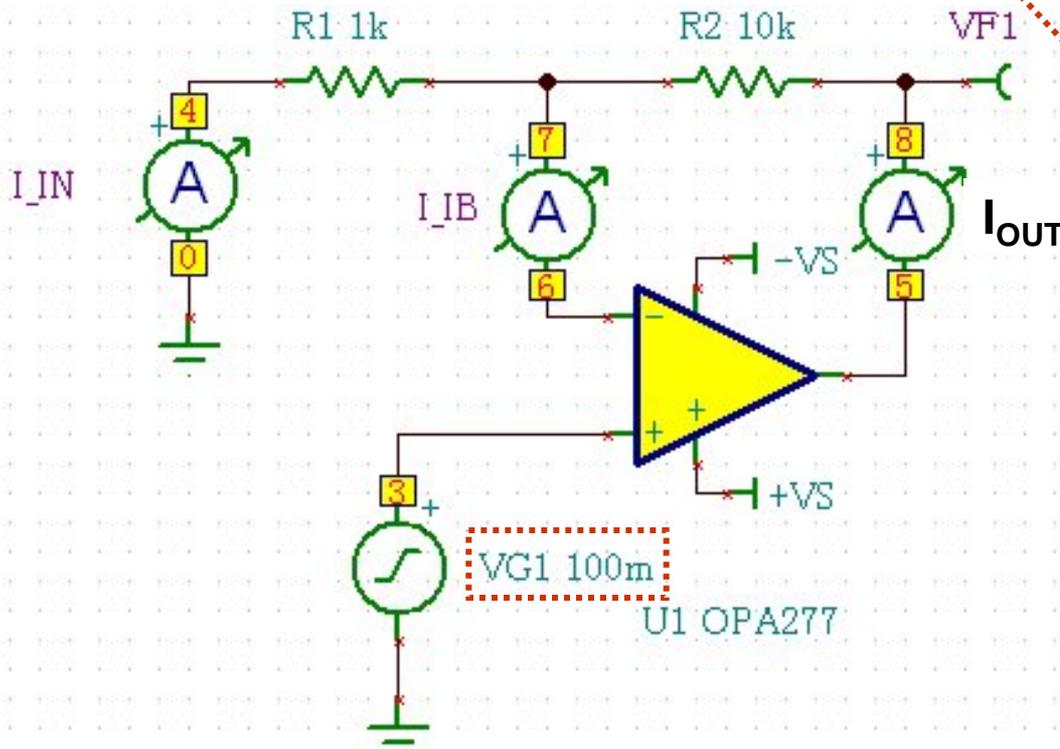
ノード電圧・電流の一覧表

Nodes	Values
I_IB	490.1741pA
I_IN	1mA
I_OUT	-1mA
VF1	11.0001V
VP_1	15V
VP_2	-15V
VP_3	1V
VP_4	0V
VP_5	11.0001V
VP_6	1V

演習2: 非反転アンプのDC解析, 信号源電圧の変更

VG=0.1Vに設定することで桁不足が解消する。

I_B が流れた分, I_{OUT} が目減りしたことが見る。



ノード電圧・電流の一覧表

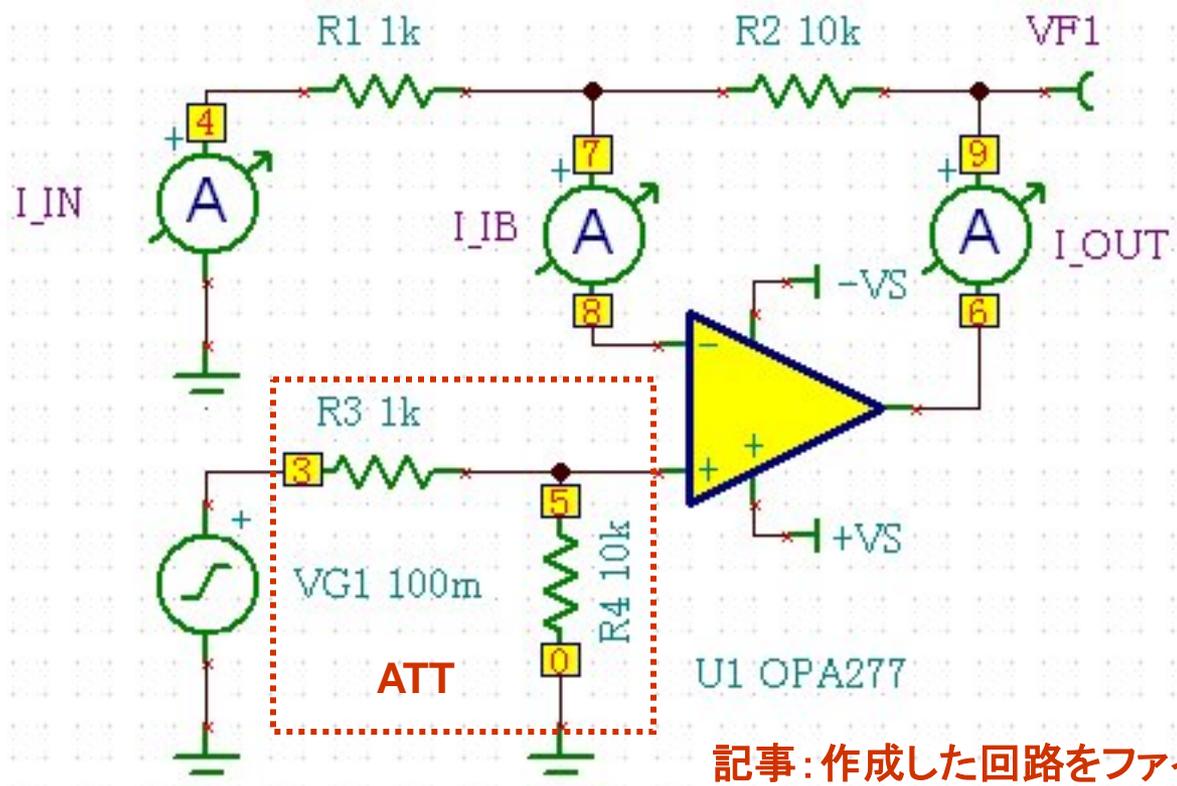
Nodes	Values
I_{IB}	487.0117pA
I_{IN}	100.0106uA
I_{OUT}	-100.011uA
VF1	1.1001V
VP_1	15V
VP_2	-15V
VP_3	100mV
VP_4	0V
VP_5	1.1001V
VP_6	100.0106mV

演習3: 差動アンプのDC解析, 非反転入力側

スライド32の回路“Non_Inv_Amp_M”を改造して差動アンプにして下さい。

非反転入力側の分圧器(ATT)によりゲインが+10となっている。

ノード電圧・電流の一覧表

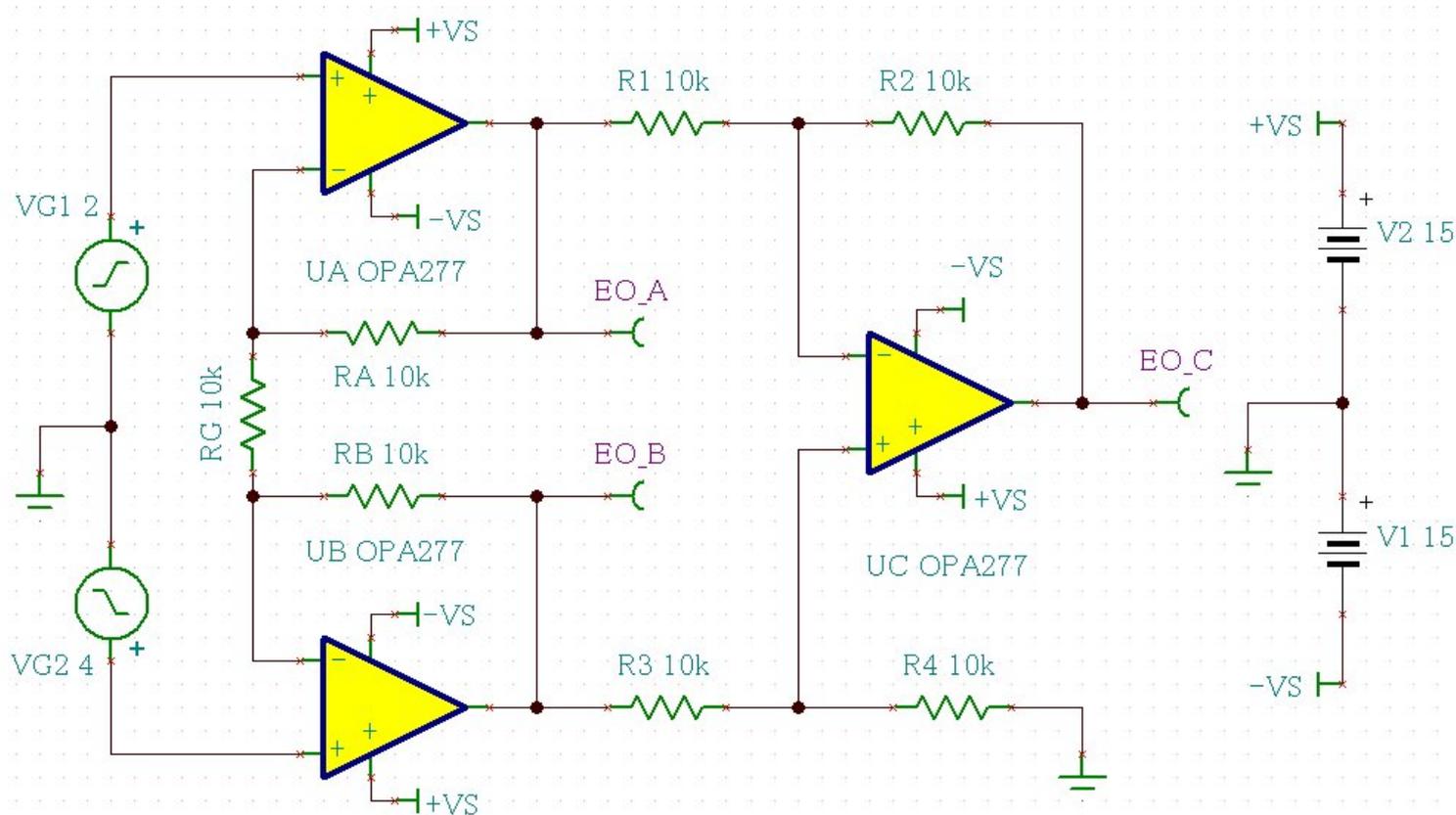


Nodes	Values
I_IB	486.9792pA
I_IN	90.9193uA
I_OUT	-90.9198uA
VF1	1.0001V
VP_1	15V
VP_2	-15V
VP_3	100mV
VP_4	0V
VP_5	90.9089mV
VP_6	1.0001V

記事: 作成した回路をファイル名“Def_Amp_M”でセーブ。

演習4: 計測アンプのDC解析, 回路図の作成

“Def_Amp_M”を改造して下図の回路を作成してください。



記事: 作成した回路をファイル名“IA”でセーブ。

演習4: 計測アンプのDC解析, ノード電圧の表を求める

ノードの一覧表が出たら

このボタンを押して, ノード情報を“TXT”で吐き出す。

Node/Component	Value
EO_A	15.595033uV
EO_B	6.000015V
EO_C	6.000022V
I_R1[10,6]	-300.000088uA
I_R1IN[1,28]	242.794739pA
I_R1IN[2,48]	240.535319pA
I_R1IN[2,60]	245.052726uA

Show

- Nodal Voltages
- Currents
- Other Voltages
- Outputs

Cancel Help Print

演習4: 計測アンプのDC解析, ノード表を加工して貼り付け

The image shows a circuit simulation environment. On the left is a node table with two columns: 'Nodes' and 'Values'. In the center is a 'Schematic Editor' window with a menu open, highlighting the 'Text' option. On the right is another node table. A red text box with arrows points from the 'Text' menu option to the right-hand node table. The circuit diagram shows an operational amplifier (IC OPA277) with various nodes and components like resistors and voltage sources.

Nodes	Values
EO_A	15.595033uV
EO_B	6.000015V
EO_C	6.000022V
I_R1[10,6]	-300.000088uA
I_R2[6,11]	-300.000585uA
I_R3[7,1]	300.00087uA
I_R4[1,0]	300.000627uA
I_RA[8,10]	199.999483uA
I_RB[9,7]	-200.000477uA
I_RG[9,8]	199.999977uA
I_RP[5,4]	705.699701uA
I_VG1[2,0]	-240.535319pA
I_VG2[3,0]	-245.053726pA
VP_1	3.000006V
VP_2	2V
VP_3	4V
VP_4	-15V
VP_5	15V
VP_6	3.000016V
VP_7	6.000015V
VP_8	2.00001V
VP_9	4.00001V
VP_11	6.000022V
VP_10	15.595033uV

Training_IA - Schematic Editor

Insert View Analysis T&M

Last Component Ctrl+Ins
 Wire Ctrl+Space
 Input Ctrl+I
 Output Ctrl+U
Text Ctrl+T
 Graphics... Ctrl+G
 Title Block...

Macro...
 Auto Repeat
 Auto Wire

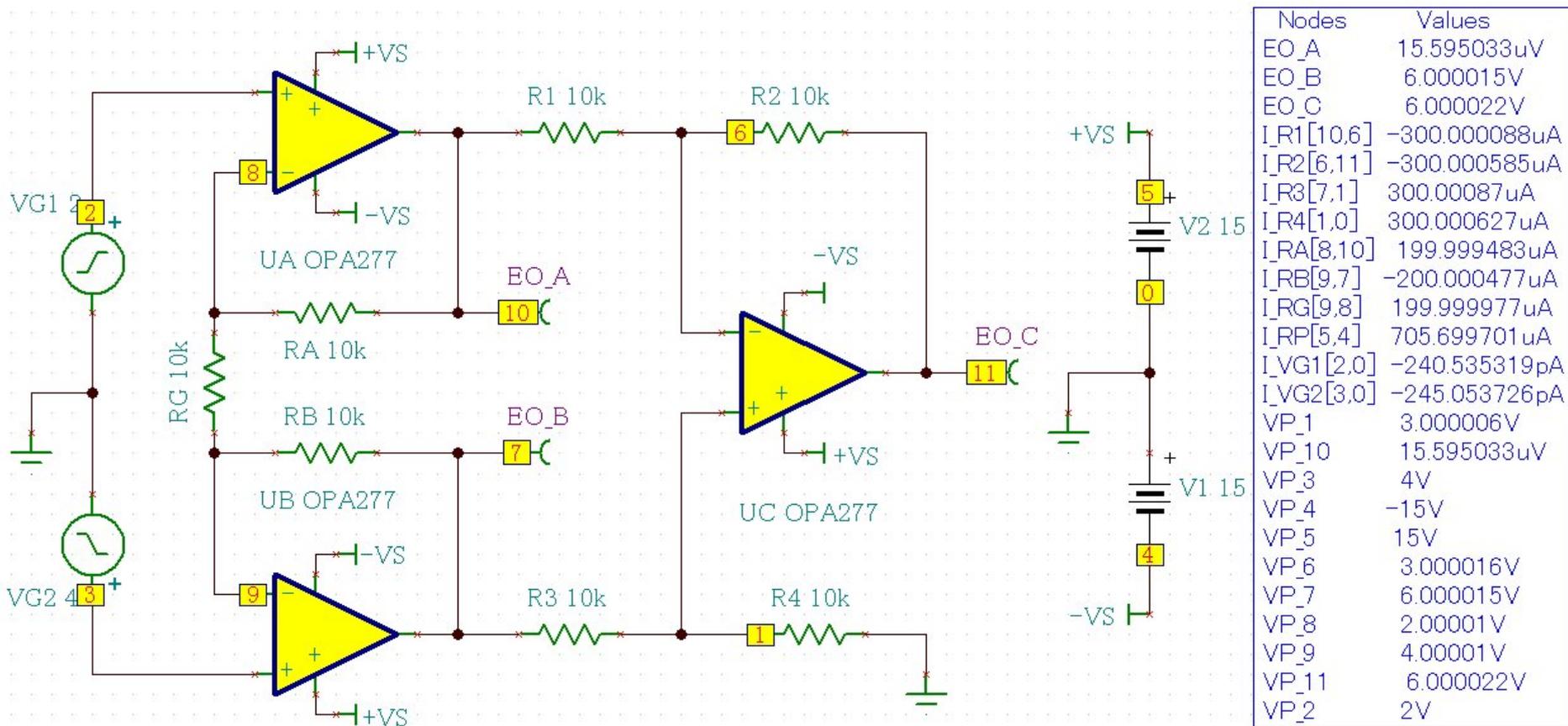
メモ帳で余分な行を削除し
 “Insert”から“Text”により
 図面へ貼り付ける。

Nodes	Values
EO_A	15.595033uV
EO_B	6.000015V
EO_C	6.000022V
I_R1[10,6]	-300.000088uA
I_R2[6,11]	-300.000585uA
I_R3[7,1]	300.00087uA
I_R4[1,0]	300.000627uA
I_RA[8,10]	199.999483uA
I_RB[9,7]	-200.000477uA
I_RG[9,8]	199.999977uA
I_RP[5,4]	705.699701uA
I_VG1[2,0]	-240.535319pA
I_VG2[3,0]	-245.053726pA
VP_1	3.000006V
VP_10	15.595033uV
VP_3	4V
VP_4	-15V
VP_5	15V
VP_6	3.000016V
VP_7	6.000015V
VP_8	2.00001V
VP_9	4.00001V
VP_11	6.000022V
VP_2	2V

演習4: 計測アンプのDC解析, ノード番号と表の対比

回路の消費電流とバイアス電流を読み取ってください。

ヒントはノード番号[5,4], [2,0], [3,0]



セッション2 終わり

お疲れ様でした.

